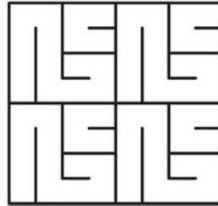


ADAPTACIÓN DEL MODELO DE CHAO SHANG Y LU HUANG QUANTUM MODEL,  
PARA LA ESTIMACIÓN DE LA VOLATILIDAD DE LOS RETORNOS EN EL ÍNDICE  
DXY



YUDY CAROLINA BOTÍA DÁVILA

Abril de 2016

Director: Giovanni Moreno Buitrago

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA FINANCIERA  
GRUPO DE SEMILLERO ARISTOS  
BOGOTÁ D.C

Bogotá D.C. Abril 01 de 2016

A Dios

Por cada nueva mañana que me ha concedido vivir,

Por cada una de las oportunidades que me permite tener,

Por ser mi guía y permitirme llegar a un conocimiento que enriquece mi vida.

A mi madre María del Rosario Dávila, por darme la vida, por ser mi ejemplo,

Por brindarme un apoyo incondicional.

A mi esposo Giovanni Moreno Buitrago e hija Violeta Moreno Botía

Por ser el sol que me ilumina y la luz que me motiva para emprender nuevos retos

Por acompañarme de la mano en este camino.

Los Amo.

Agradezco A mi familia

De quienes he recibido

Siempre la motivación sincera para culminar este proyecto.

A mis maestros.

Quienes me apoyaron en mi formación como profesional

En especial al docente-investigador

Y director de tesis Giovanni Moreno Buitrago

Por acompañarme en el desarrollo de esta investigación.

A nuestra decana de Programa Elisa Piedrahita

Quien con su visión, experiencia y conocimiento

Permite que la Ingeniería Financiera se forme, se desarrolle y evolucione.

A todo el equipo de trabajo del programa, en especial a la Doctora Jeannette Rodríguez y

Adriana Bejarano quienes gracias a su colaboración y disposición aportaron para la feliz

culminación de esto proceso.

A cada una de las personas que me acompañaron y aportaron en esta etapa de mi vida, cuyos

recuerdos perdurarán en mí.

## Tabla de Contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Problema de Investigación .....</b>	<b>10</b>
1.1 Planteamiento del Problema.....	10
<b>2. Objetivos de Investigación.....</b>	<b>13</b>
2.1 Objetivo General .....	13
2.2 Objetivos Específicos .....	13
<b>3. Justificación .....</b>	<b>14</b>
<b>4. Marco de Referencia.....</b>	<b>16</b>
<b>4.1 Marco Teorico .....</b>	<b>17</b>
4.1.2 Comparación Conceptual Entre la Física Cuántica, Relativista y Física Estadística. ....	17
4.1.3 Física Cuántica.....	18
4.1.5 Postulados de la Física Cuántica. ....	21
4.2.3 Teorías y Ecuaciones de Física Cuántica Más Relevantes en la Aplicación del Modelo de Finanzas Cuánticas para el Mercado Bursátil. ....	23
4.1.7 <i>Pensamiento Económico y su Lineamiento con la Física Cuántica.</i> ....	35
4.1.8 Incertidumbre a Partir del Tipo de Inversión y Preferencia por Liquidez.....	47
4.1.9 Los Índices Bursátiles y su Importancia en el Mercado de Valores .....	50
4.1.10 Antecedentes Históricos Sobre la Física Cuántica Aplicada a las Finanzas .....	52
4.1.10.5 <i>Un Modelo Cuántico para el Mercado de Valores</i> .....	56
4.1.11 Elección del Modelo de Física Cuántica Adecuado al Índice DXY y sus Componentes. ....	58
<b>4.2 Marco Conceptual.....</b>	<b>61</b>
<b>4.3 Marco Espacial.....</b>	<b>63</b>
<b>4.4 Marco Temporal - Espacial.....</b>	<b>63</b>
<b>5. Hipótesis.....</b>	<b>64</b>
<b>5.1 Hipótesis de Primer Grado.....</b>	<b>64</b>
<b>5.2 Hipótesis de Segundo Grado .....</b>	<b>64</b>
<b>6. Aspectos Metodológicos.....</b>	<b>65</b>
<b>6.1 Método de Investigación.....</b>	<b>65</b>

<b>6.2 Fuentes y Técnicas de Recolección de la Información .....</b>	<b>66</b>
<b>6.3 Fases de la Investigación .....</b>	<b>66</b>
<b>6.4 Importancia de la Identificación de la Volatilidad de los Retornos para los Inversionistas. ...</b>	<b>67</b>
<b>6.5 Identificación de la Aplicación e Identificación de Analogías del Modelo de Chao Shang y Lu Huang en el Mercado Accionario Chino.....</b>	<b>68</b>
<b>6.6 Desarrollo Fase I de la Investigación.....</b>	<b>69</b>
6.6.1 Generación de la Información en Plataforma Bloomberg.....	69
6.6.2 Análisis y Presentación de las Analogías el Modelo Aplicado al Índice DXY y las Monedas que lo Componen. ....	78
6.6.3 Supuestos Aplicados en el Modelo “A Quantum Model For The Market” y Estimados en los Componentes del Índice DXY. ....	87
6.6.4 Desarrollo de la ecuación de Schrödinger.....	93
<b>7. Conclusiones .....</b>	<b>99</b>
<b>8. Recomendaciones .....</b>	<b>103</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>105</b>

***Tablas***

Tabla 1 Interacción y Partículas Mediadoras.....	23
Tabla 2 Interpolación.....	30
Tabla 3 Mercado Global de Divisas, Volumen de Transacciones en cada Mercado a Abril de 2013.....	50
Tabla 4 Casos Clásicos de Tipo de Potencial el Física Cuántica.....	83
Tabla 5 Supuestos para la Creación del Modelo para la Generación de la Volatilidad de los Retornos en las Monedas que Componen el Índice DXY.....	87

## Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1. Características de la Física Cuántica, Relativista y Estadística. ....	17
Ilustración 2 Fuerzas de Interacciones .....	24
Ilustración 3 Gato de Schrödinger .....	33
Ilustración 4 Distribución de las Transacciones por Moneda en el Mercado Global de Divisas. ....	48
Ilustración 5 Distribución de las Transacciones por Pares de Monedas en el Mercado Global de Divisas. .....	49
Ilustración 6 Composición General de los Índices.....	51
Ilustración 7 Importación de Datos.....	70
Ilustración 8 Paso Importación de Datos .....	71
Ilustración 9 Bloomberg Data Wizard, Historical.....	71
Ilustración 10 Importe de la Información, Selección Índice. ....	72
Ilustración 11 Confirmación del Primer Dato de Importación.....	73
Ilustración 12 Selección Actividad del Mercado .....	73
Ilustración 13 Selected Fields .....	74
Ilustración 14 Selección Fecha Inicial Y Fecha Final de la Base de Datos. ....	75
Ilustración 15 Pantalla Check List .....	76
Ilustración 16 Información Importada a Excel .....	78

**Tabla de Ecuaciones**

Ecuación 1 Schrödinger Dependiente del Tiempo.....	21
Ecuación 2 Principio de Incertidumbre.....	34
Ecuación 3 Alfa de Jensen .....	45
Ecuación 4 Índice de Treynor .....	46
Ecuación 5 Ratio de Sharpe .....	47
Ecuación 6 Espacio Hamiltoniano .....	59



## Introducción

La física cuántica resulta interesante no solo para los profesionales de la física sino para otras áreas como las finanzas, por ello el primer objetivo de este trabajo de investigación será tener una claridad sobre los conceptos a manejar así como las analogías que se requieren para tener un acercamiento a las denominadas finanzas cuánticas.

El contenido se desarrolla a partir de lecturas previas que obligan a conocer el mundo de la física clásica y posteriormente ir direccionando ese conocimiento a la física cuántica, donde se tiene una evaluación histórica para posteriormente dar detalles sobre el lineamiento de la física cuántica con la economía y las finanzas haciendo énfasis en principios que relacionan estas áreas de investigación. Es así como se permite dar continuidad a un conocimiento general de los modelos existentes y como se ha llevado su aplicabilidad al mercado de valores, decidiendo analizar uno de ellos donde con base en supuestos se permite identificar si es o no aplicable al índice DXY.

La anterior etapa se establece a partir de un método analítico, por ello se centra en la explicación detallada de la expresión de la ecuación final de Schrödinger la cual a partir de la información se decidirá si esta permite ser aplicada desde el método numérico, para ello se detiene en la composición de las fórmulas y ecuaciones así como en la representación de cada una de ellas y el impacto que le genera a la expresión analítica. Para finalizar, se encontraran una serie de conclusiones y recomendaciones, las cuales son importantes para la continuidad de futuras investigaciones en finanzas cuánticas.

## 1. Problema de Investigación

### 1.1 Planteamiento del Problema

El mercado financiero y específicamente el mercado de divisas ha venido presentado cambios constantes y determinantes, muestra de ello es el uso de la tecnología, participación de físicos y matemáticos que generan alternativas cuantitativas donde en conjunto con la implementación de algoritmos generan una alternativa clara para reducir el tiempo en la transacción convirtiéndolo de horas a minutos y de minutos a microsegundos, teniendo como objetivo aumentar el volumen de transacciones y la probabilidad de generar mayor rentabilidad, es decir de ser más eficientes (Marco, 2011). Ejemplo de lo anterior se puede identificar en Estados Unidos lo cual ha permitido el crecimiento del sector de servicios financieros, en Europa también se ve una aceptación donde los algoritmos representan un 60% del volumen tranzado. (Pérez, 2011). Entre los físicos y matemáticos se identifica a Jim Simons dueño de Hend Fund (fondo no regulado) (SEEDMagazine, 2016), Steven Swanson quien fue creador de un predictor de precios de corta duración, análogo al sentido de un operador humano a donde va direccionada la acción, o el matemático Steve Keen con sus aportes teóricos económicos, crean algoritmos que pueden ser programados y posteriormente ejecutados. Ahora bien, al unirse físicos y matemáticos se unen nuevos análisis que no habían sido esperados en el área financiera, haciendo así referencia a las Finanzas Cuánticas, donde teorías como los Campos Cuánticos, la Ecuación de Schrödinger, el Principio de Superposición y con ello la función de onda permiten generar información que es aplicable a los mercados financieros.

Colombia no es indiferente a la necesidad de conocer sobre física cuántica, en la actualidad se tiene un reconocimiento a nombre del doctor de la Universidad Nacional de Colombia en física Rubén Guerrero quien recibió BM-Zerner Award for Graduate Students, en la Universidad de la Florida en Georgia, tras realizar su investigación y mostrar resultados en el área de control de la dinámica cuántica.

Llevándose al ámbito financiero no se tienen identificadas investigaciones en el país sobre finanzas cuánticas, esto hace que se refleje una necesidad de indagar y generar mayor conocimiento teniendo como base teóricos como James Owen Weatherall, quien es físico, matemático y filósofo en la Universidad de California, con investigaciones finalizadas basadas en los fundamentos matemáticos y conceptuales de las teorías en el campo de la física clásica y cuántica teniendo como principal interés la construcción de modelos en las finanzas en lo cual reconoce una pertinencias interdisciplinaria, esto se refleja en el libro la Física de Wall Street (en inglés *The Physics of Wall Street*) (Owen Weatherall, 2015), donde como ejemplo de lo escrito indica: “Jim Simons..., experto en teoría de cuerdas y fundador de la empresa Renaissance Technologies. No contrata a expertos en finanzas, solo a científicos... Mientras el mundo de los negocios se desplomaba, en 2008, su Medallion Fund ganó un 80%” (Owen Weatherall, 2015). Lo anterior permite afirmar que no solo es pertinente sino necesario la participación de otras áreas en las finanzas.

## **1.2 Formulación del problema**

A partir del planteamiento del problema se presenta la pregunta a solucionar la cual se establece a continuación:

¿Cómo el modelo Chao Shang y Lu Huang basado en física cuántica se permite ajustar para ser aplicado al mercado de divisas y con ello que analogías y parámetros se pueden identificar debiendo ser estos direccionados a la estimación de la volatilidad de los retornos en el índice DXY, permitiendo con esto que el ingeniero financiero continúe innovando desde áreas como la Física y las Matemáticas?

## **1.3 Sistematización del Problema**

¿Qué modelos han sido creados a partir de la física cuántica para ser aplicados al mercado de divisas o hacia otro tipo de mercado financiero?

¿Cuáles son las variables y supuestos teóricos requeridos en los modelos cuánticos que permiten la predicción de precios y cómo implementar estas teorías al mercado de divisas?

## **2. Objetivos de Investigación**

### **2.1 Objetivo General**

Identificar las analogías dadas desde la física cuántica y direccionarlas hacia los mercados financieros, las cuales permitan adaptar la expresión analítica y posteriormente calcular los parámetros de la ecuación de Schrödinger a partir del modelo de Chao Shang y Lu Huang para la estimación de la volatilidad de los retornos del índice DXY.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Establecer las restricciones en información y/o estructura del índice DXY y las monedas que lo componen para identificar posibles soluciones que aumenten la probabilidad de la expresión analítica.

\* Identificar el desarrollo de los parámetros para la solución de la ecuación de Schrödinger que permita la estimación de la volatilidad de los retornos del índice DXY.

\* Establecer la importancia de los resultados en los inversionistas así como la aplicación del modelo en instrumentos del mercado financiero.

### 3. Justificación

El doctor en psicología, egresado de la Universidad de Harvard Jerome Seymour Bruner dice “El estudiante que aprende física es un físico y es más fácil aprender física comportándose como un físico que haciendo cualquier otra cosa”, adicionalmente pone un énfasis importante “el aprendizaje se debe basar en el descubrimiento” (Martinez & Sánchez, 2015). Dos premisas esenciales, la primera a partir que la investigación tiene como base la Física Cuántica aplicada a las finanzas, por ello se solicita al lector de esta investigación visualizarse como un físico cuántico y a su vez un Ingeniero Financiero, siendo la composición más clara para lograr claridad en las analogías presentadas en esta investigación.

Pero ¿por qué estudiar los modelos a escalas tan pequeñas como lo hace la física cuántica?:

*“Debemos asumir, pues, el carácter absoluto de la pequeñez de los sistemas a los que se aplica la Teoría Cuántica. Es decir, la cualidad “pequeño” o “cuántico” deja de ser relativa al tamaño del sistema, y adquiere un carácter absoluto “ (Martinez & Sánchez, 2015),*

Fondos como Medallion fundado en 1988 ha obtenido un retorno promedio del 80% al año desde que fue fundado (Finanzas, 2013), Wall Street desde los años ochenta contrata físicos, matemáticos para que modelen y con esto creen alternativas de inversión que permitan que las utilidades de inversionistas no solo aumenten sino sean constantes, (Martinez & Sánchez, 2015) pero tal vez la base más importante para realizar esta investigación a partir de la física cuántica es que según Albert Einstein al verificar la magnitud física de la acción:

*Se obtiene de la siguiente multiplicación de magnitudes:  $A = P \times L$ , donde  $P$  representa la cantidad de movimiento característica del sistema (el producto de su masa por su velocidad) y  $L$  su “longitud” característica. La unidad de esa “regla” que mencionábamos, con la que medimos la acción de los sistemas, es la constante de Planck,  $h = 6.6260693(11) \times 10^{-34} \text{ J.s} = 4.135\,667\,43(35) \times 10^{-15} \text{ eV.s}$ ). Si el valor de la acción característica del sistema es del orden de la constante de Planck deberemos utilizar necesariamente la Teoría Cuántica a la hora de estudiarlo. (Tendencias Científicas, 2006)*

Ahora al identificar al mercado de divisas como el átomo, el índice USDX sería el núcleo, este a su vez está compuesto por Quarts que serían la canasta de monedas que componen el índice, (EUR, JPY, GBP, CAD, SEK Y SHF), pero con una nube eléctrica que la rodea identificado como inversionistas, tendríamos la composición completa del átomo. Solo faltaría verificar la constante “h” a partir de los datos que serán ingresados en el modelo para establecer el campo hamiltoniano. (Una delimitación previa se dará a partir de la correlación hallada en una de las monedas que tiene participación en la canasta vs el índice).

#### **4. Marco de Referencia**

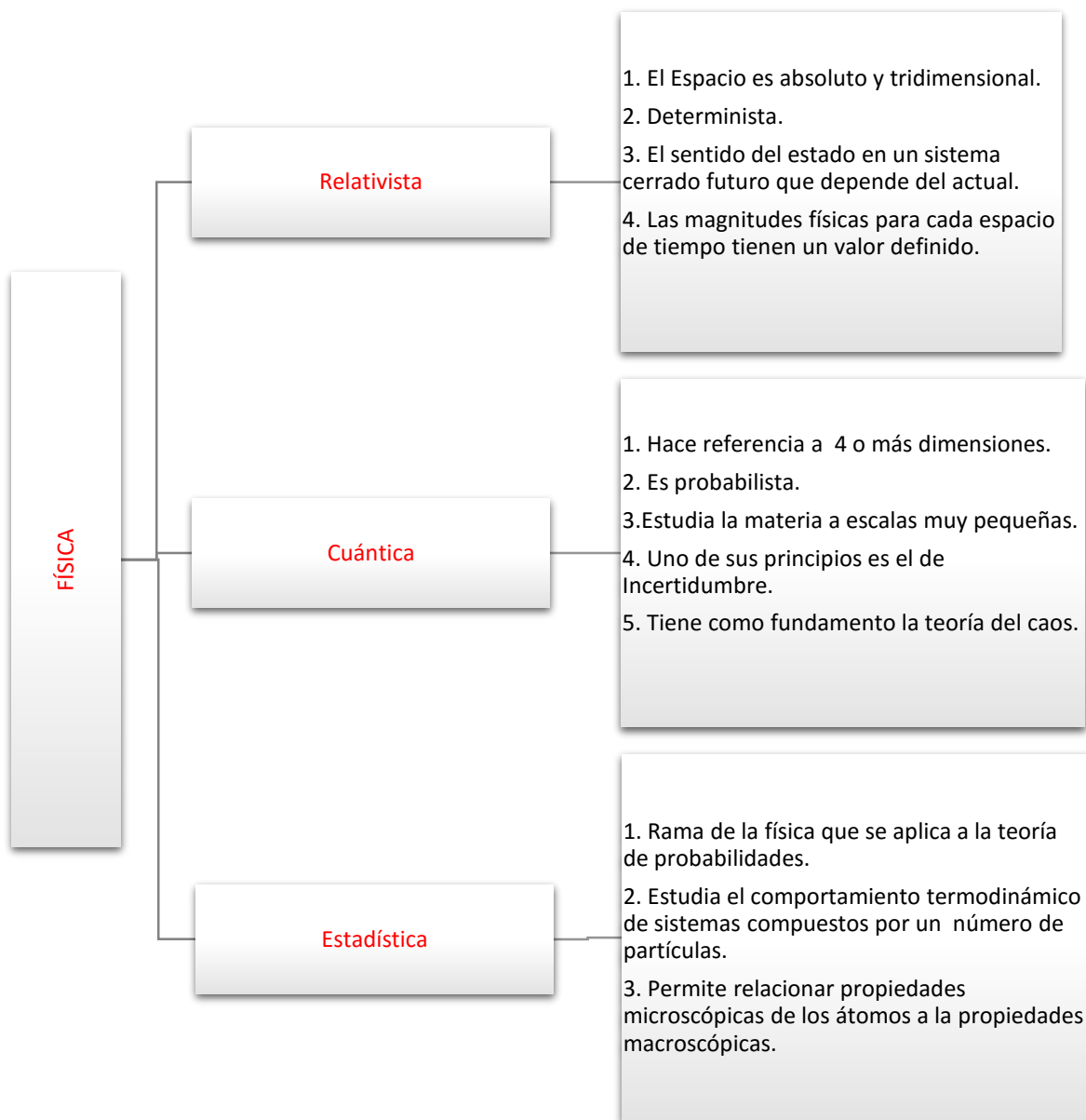
Dentro de los teóricos reconocidos en la física clásica y/o física moderna se encuentra al físico británico Isaac Newton, (Alexander, 2012). También se encuentra a Galileo, padre de la mecánica, detrás de él estuvo Torricelli, Pascal, Boyle entre muchos otros físicos teóricos y/o experimentales que dieron como fin cinco teorías centrales. La primera la Mecánica Clásica la cual habla sobre el movimiento macroscópico, la segunda el Electromagnetismo haciendo referencia a los fenómenos electromagnéticos como la luz, la tercera la teoría de la relatividad y Albert Einstein con su relación espacio-tiempo, la cuarta teoría central de la física llamada Interacción Gravitatoria donde se estudia la deformación del espacio por la existencia de la materia y la quinta mecánica cuántica con el estudio del comportamiento del mundo atómico. (López Lander & Muñoz Torrótegui, 2014).



## 4.1 Marco Teorico

### 4.1.2 Comparación Conceptual Entre la Física Cuántica, Relativista y Física Estadística.

*Ilustración 1. Características de la Física Cuántica, Relativista y Estadística.*



Fuente: Elaboración propia, a partir de información de:

[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/078/htm/sec\\_9.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/078/htm/sec_9.htm)  
<https://www.i-cpan.es/expocern/docs/oviedo/Interacciones-cuanticas.pdf>  
<http://fisica.laguia2000.com/fisica-mecanica/mecanica-estadistica>

#### 4.1.3 Física Cuántica.

Afirmaciones como *“El espacio no es tridimensional... los átomos consisten en varias regiones del espacio donde unas partículas extremadamente pequeñas se mueven...Se deben estudiar los núcleos atómicos, pues ellos tienen prácticamente toda la masa del átomo”* (Ramos, 2007). Son las que permite la Física Cuántica a partir del estudio del mundo atómico, es la percepción de un mundo totalmente diferente al que se percibió y analizó y que tantos aportes dio a investigaciones durante años desde la física clásica, donde físicos reconocidos como Albert Einstein, entre otros, dieron las primeras contribuciones las cuales posteriormente permitirían analizar e identificar la probabilidad de comportamientos de interés en áreas como finanzas, telecomunicaciones, informática, más otras disciplinas que se identificaran en investigaciones con autores que también dan su aporte a la física cuántica.

#### 4.1.4 Teóricos de la Física Cuántica.

##### *4.1.4.1 Max Planck.*

Físico Alemán, Ph D. de la universidad de Munich con tesis doctoral en termodinámica, también profesor en la Universidad de Berlin en los años de 1880 a 1928, para el año de 1900 Planck formula que la “energía se radia en unidades pequeñas denominadas cuantos” a partir de sus avances se descubre la constante  $h$ , también denominada constante de Planck. Ahora la ley de Planck establece que “la energía de cada cuanto es igual a la frecuencia de la radiación multiplicada por la constante universal “, siendo  $h$  la consgtante universal. (Biografías y Vidas, 2015).

Nobel de Física en 1918, presidente de la sociedad de Káiser Guillermo para el congreso de la ciencia, ahora llamada sociedad Max Planck, sus obras más representativas son; Introducción a la física teórica (1932-1933) cinco volúmenes y filosofía de la física (1936), para recordar se cita a la constante de Planck como uno de los más importantes aportes a partir de sus investigaciones. (Actiweb, 2015)

Max Plank aporta a la investigación la constante que a partir de la aplicación de fórmulas permite llevar valores como la energía al mundo sub atómico, haciendo que se dimensione la importancia de pequeñas energías (quants) que afectan el átomo. Para el caso de estudio la constante establece como la suma de muchos oferentes y demandantes los cuales actúan como quants, estos tienen un impacto en los precios de la canasta de divisas y con ello en las volatilidades de los retornos de forma individual y a través del índice DXY.

#### *4.1.4.2 Werner K. Heisenberg.*

Teórico conocido por formular el principio de incertidumbre en física cuántica entre sus desarrollo estuvo el de 1925 el cual fue basado en un sistema de mecánica cuántica de nombre mecánica matricial<sup>1</sup>, Heisenberg fue premio nobel de física en 1932, colaborador de Max Born y Niels Bohr, profesor de física en 1927 -1976, también director del Instituto Max Planck para el año de 1941.

---

<sup>1</sup> Formulación matemática se basaba en las frecuencias y amplitudes de las radiaciones absorbidas y emitidas por el átomo y en los niveles de energía del sistema atómico” (Astromia, 2007)

Entre sus libros están, principios físicos de la teoría cuántica, La parte y el todo; conversando en torno a la física atómica, Física y filosofía e introducción a la teoría unificada de las partículas elementales, entre otros. (Actiweb, 2015)

A partir de lo anterior se hace importante identificar a Wernr Heisenberg y su legado, la incertidumbre, esto debido a que una de las características de los mercados financieros, específicamente de las monedas es la incertidumbre en temas como el precio de la acción, rentabilidad, retornos esperados, entre otros.

#### *4.1.4.3 Erwin Schrödinger.*

Reconocido físico gracias a su aporte conocido como “Ecuación de Schrödinger”, aporte generado a la física cuántica y a su pregunta ¿Qué es la vida?, la cual tuvo gran impacto en el mundo científico. Ejemplo de ello es la investigación que realizó James Watson donde a partir de la inspiración que le dio el libro ¿Qué es la vida? Realizó estudios que le llevaron a descubrir la estructura de doble hélice del ADN. Schrödinger también fue conocido por ser el padre de la mecánica ondulatoria por su labor como profesor desde 1920 y hasta 1955, mientras fue profesor nunca dejó de lado sus investigaciones, las cuales se centraron en temas de termodinámica, temperatura de sólidos y temas atómicos. Erwin Schrödinger fue premio nobel de física en 1933. (Astromía, 2015). Entre sus libros se encuentran “Mente y Materia” y “¿Hay Saltos Cuánticos?”, artículos como “cuantificación un problema de valores propios” y “una teoría ondulatoria de la mecánica de los átomos y las moléculas”, entre otros (Historic Papers, 2015), Su aporte para la investigación se centra en la ecuación la cual será adecuada al mercado de divisas a partir de estudios previos en el mercado de acciones Chino.

#### 4.1.5 Postulados de la Física Cuántica.

La física cuántica tiene postulados que han sido escritos por físicos teóricos y posteriormente demostrados por físicos experimentales, entre ellos se encuentran:

**Postulado I.** El estado de un sistema físico está descrito por una función  $\Psi(q,t)$  de las coordenadas ( $q$ ) y del tiempo ( $t$ ). Esta función llamada función de estado o función de onda, contiene toda la información que es posible determinar acerca del sistema. Además, se postula que  $\Psi(q,t)$  toma valores simples, es finita, continua, con derivadas continuas y de cuadrado integrable.

**Postulado II.-** La evolución en el tiempo del estado de un sistema está dada por la ecuación de Schrödinger dependiente del tiempo:

*Ecuación 1 Schrödinger Dependiente del Tiempo*

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(q,t)}{\partial t} = \hat{H}(q,t)$$

Donde  $\hbar = h/2\pi$ , siendo  $h$  una constante universal conocida como constante de Planck, y donde  $\hat{H}$  es el operador de Hamilton (o Hamiltoniano) del sistema.

Para una única partícula moviéndose a lo largo del eje  $x$ ,  $\hat{H}$  viene dado por:

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial x^2} + V(x,t) \Psi(x,t)$$

**Postulado III.-** A cada observable físico en Mecánica Cuántica le corresponde un operador lineal y hermítico. Para encontrar dicho operador, se escribe la expresión mecanoclásica del observable en términos de las coordenadas cartesianas y de los momentos lineales correspondientes. A continuación se reemplaza cada coordenada  $x$  por el operador  $x^{\wedge}$  (multiplica por  $x$ ) y cada momento lineal  $p_x$  por el operador  $-i\hbar\partial/\partial x$ .

**Postulado IV.-** Independientemente de cuál sea la función de estado de un sistema, los únicos valores que pueden resultar de una medida del observable físico  $A$  son los valores propios  $a_i$ , de la ecuación:

$$\hat{A} \psi_i = a_i \psi_i$$

**Postulado V.-** Si  $\hat{A}$  es un operador hermítico lineal que representa un observable físico, entonces las funciones propias  $\psi_i$  de la ecuación de valores propios  $\hat{A} \psi_i = a_i \psi_i$ , forman un conjunto completo. Esto quiere decir que cualquier función de estado  $\Psi$  que satisfaga las mismas condiciones límite que cada  $\psi_i$  puede expresarse como combinación lineal de los estados propios de  $\hat{A}$ .

$$\Psi = \sum c_i \psi_i$$

**Postulado VI.-** Si  $\psi_i(q, t)$  es la función de estado normalizada de un sistema al tiempo  $t$ , entonces el valor medio de un observable físico  $A$  en el instante  $t$  es:

$$\langle A \rangle = \int \psi^* \hat{A} \psi dq$$

$\hat{A}$  (Fernández Germán, 2009)

A partir de los postulados se conocen las ecuaciones físicas y conceptos que impactan el desarrollo de la investigación.

#### 4.2.3 Teorías y Ecuaciones de Física Cuántica Más Relevantes en la Aplicación del Modelo de Finanzas Cuánticas para el Mercado Bursátil.

##### Fuerzas e Interacciones en la Física Cuántica

En la física clásica existen dos tipos de interacción gravitatoria y electromagnética, es decir que inicia con Newton y termina con Maxwell, teóricos representativos de un periodo inicial de la física, hoy se hace referencia a una fuerza débil y una fuerza fuerte, estas tienen su primera presencia en el estudio de la estructura nuclear. La fuerza fuerte crea un enlazamiento entre los protones y neutrones y la fuerza débil se encarga de las transformaciones de una partícula a otra. (Revista Brasileira de Ensino de Física, 2008)

*Tabla 1*

*Interacción y Partículas Mediadoras.*

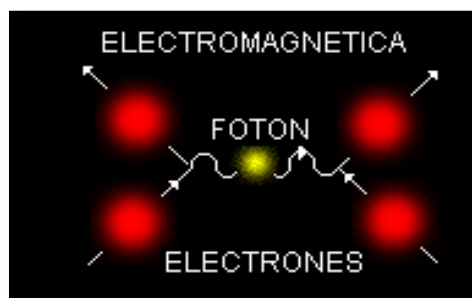
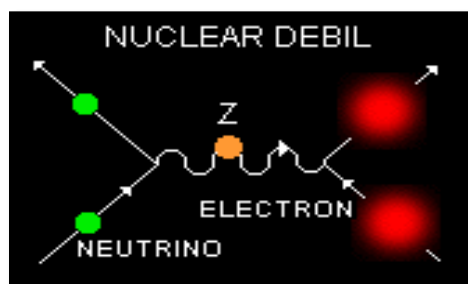
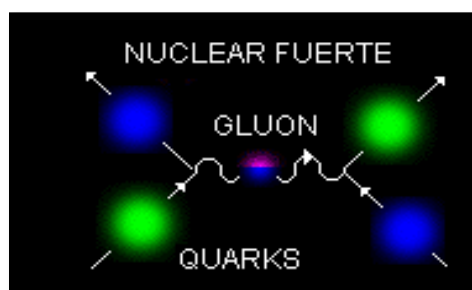
Interacciones y partículas mediadoras		
Fuerza	Alcance	Partícula Intermediaria
Gravitación	Largo	Gravitón
Electromagnetismo	Largo	Fotón
Fuerza nuclear débil	Corto	Bosones W <sup>+</sup> , W <sup>-</sup> y Z
Fuerza nuclear fuerte	Corto	Gluones

Nota: La tabla refleja el alcance de la fuerza y la partícula mediadora Fuente: (Intercentres, 2016)

En la física clásica y debido a investigaciones del físico japonés Hideki Yukawa (1907-1981) las partículas mediadoras en la fuerza nuclear débil se denominan bosones, siendo estos los que tienen el campo de fuerza y en la fuerza nuclear fuerte la fuerza la tienen los gluones, su nombre es generado a partir de las propiedades de unión. Es decir, que las ondas que se generan a partir de las interacciones son cuantificables a partir de los bosones o de su partícula intermedia. (Intercentres.edu).

### *Ilustración 2*

#### *Fuerzas de Interacciones*



**Nota:** Las fuerzas que interactúan en la física cuántica son cuatro, reflejadas en la ilustración anterior, Fuente: (Fernández Germán, 2009).



Direccionando las fuerzas e interacciones de la física cuántica a las finanzas y específicamente al modelo, se identifican como los Quarks (Figura 8), son la base de estudio siendo representados en el modelo inicial por las acciones que componen el índice y en esta investigación por la canasta de monedas que conforman el índice USDX. Es así como se afirma que para el modelo, estos serían las partículas más pequeñas donde la energía que las conforman generan un campo cuántico y/o también conocido como campo hamiltoniano.

A partir de lo anterior se debe escribir sobre la naturaleza dual de la materia, la propiedad ondulatoria y con ello sobre la función de onda en física cuántica.

#### *4.1.6.1 Naturaleza Dual de la Materia.*

La afirmación sobre la dualidad es que las partículas tienen un comportamiento de onda y como corpúsculos (partículas materiales), ahora financieramente se indica que la dualidad de forma directa está en la energía y la frecuencia teniendo entre ellas una correlación. La energía está identificada como el volumen que generan los actores los cuales potencializaran el precio de la acción y/o moneda.

Para las ecuaciones se identifican a:

E: Energía (volumen en finanzas).

P: Cantidad de movimiento en la partícula.

W: Frecuencia.

K: Vector de onda.

En este punto también entra una premisa con base estadística, donde Born realizaba la siguiente interpretación “la intensidad de las ondas de materia en un determinado punto del espacio es proporcional a la probabilidad de encontrar la partícula en este lugar” (Dr. Silvera Piris, 1999)

#### *4.1.6.2 Función de Onda.*

Una característica en la función de onda es considerar al átomo como un sistema de vibraciones continuas. Es decir, que el índice en el mercado bursátil tiene movimientos constantes dado que su composición esta en continuo proceso de compra y venta. Para el caso de estudio, esta premisa parte dado que es un mercado que funciona siete días a la semana las 24 horas del día, adicionalmente a ello el precio nunca iniciara en cero, lo cual genera un impacto en la volatilidad de los retornos, lo anterior a partir de la afirmación que el mercado de divisas siempre tendrá energía potencial (representado en el volumen) que permite una continua existencia de movimiento.

Ahora la función de onda se explica por el postulado de Born, donde:

*Cuadrado del valor absoluto de la función de onda,  $|\psi(\vec{r}, t)|^2$ , representa la densidad de probabilidad de que el resultado de un experimento de determinación de la posición de la partícula sea: “posición  $\vec{r}$  en el instante  $t$ “. Esto es,  $|\psi(\vec{r}, t)|^2$  como densidad de probabilidad de posición por unidad de volumen. (UGR, 2014)*

A partir de la función de onda se determinará la amplitud de la onda, es decir el punto máximo probable que podría llegar la volatilidad de los retornos, para ello se deberá identificar si se analizará un estado puro (con la mayor cantidad de información cuántica) o por lo contrario un estado de mezcla (UGR, 2014). Este nos definirá el espacio de Hilbert siendo el estado puro del sistema en un instante  $t$ , este espacio debe ser preparado para realizar predicciones y minimizar la dispersión que se pueda presentar en los resultados. (UGR, 2014).

#### 4.1.6.3 Constante de Planck.

*La constante de Planck, también conocida como la constante  $h$  la cual está directamente relacionada con la cuantificación de la luz y la materia, identifica a un sistema de unidades ajustada a escalas subatómicas, esta constante se establece en julios o segundos. Es llamada constante de Planck debido al teórico Max Planck, quien a partir del estudio sobre los problemas de radiación en el cuerpo negro, estableció que la constante  $h$  está identificada como  $h=6.626068 \cdot 10^{-34}$ , Su base está fundamentada en la combinación de dos ecuaciones la primera hace referencia a la distribución de la energía en la región espectral de ondas cortas y la segunda referida a las ondas largas (UGR, 2014).*

*Donde  $E(l,T)$  es la densidad de energía radiante en la cavidad por unidad de longitud de intervalo de longitud de onda, para la longitud de onda  $l$  y la temperatura  $T$ . La constante  $k$  es la constante de Boltzmann y  $c$  es la velocidad de la luz. Tenemos así que la intensidad de la radiación emitida por un pequeño orificio en la pared de la cavidad es proporcional a la densidad de la energía dentro de la misma (Sánchez, 2011).*

Se reflejara parte del proceso matemático para llegar a la constante  $h$  de Max Planck

$$E(\lambda, T) = \left( \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \right) \left( e^{\left( \frac{hc}{\lambda kT} \right)} - 1 \right)^{-1} \quad (1)$$

Cambio de Variable

$$x = \frac{hc}{\lambda kT} \quad \lambda = \frac{hc}{xTk}$$

Sustitución en 1

$$E = \left( \frac{8\pi hc}{\left( \frac{hc}{xTk} \right)^5 Tk} \right) (e^x - 1)^{-1}$$

Se simplifica

$$E = \left( \frac{8\pi x^5 T^4 k^4}{h^4 c^4} \right) (e^x - 1)^{-1},$$

Se despejan constantes

$$E = \left( \frac{8\pi T^4 k^4}{h^4 c^4} \right) \left( \frac{d}{dx} (x^5 (e^x - 1)^{-1}) \right)$$

Se iguala la primera derivada a cero

$$-x^5 (e^x - 1)^{-2} e^x + 5x^4 (e^x - 1)^{-1} = 0'$$

Simplifica

$$-\frac{x^5 e^x}{(e^x - 1)^2} + \frac{5x^4}{e^x - 1} = 0$$

Factoriza en términos comunes

$$\left(5 - \frac{xe^x}{e^x - 1}\right) \left(\frac{x^4}{e^x - 1}\right) = 0,$$

Posteriormente se tiene que:

$$\frac{5(e^x - 1) - xe^x}{e^x - 1} = 0,$$

$$5e^x - xe^x - 5 = 0.$$

Se escribe como:

$$\frac{1}{5}x + e^{-x} - 1 = 0.$$

Se iguala la ecuación a  $f(x)$

$$f(x) = \frac{1}{5}x + e^{-x} - 1.$$

Se deriva con respecto a  $X$ :

$$f'(x) = \frac{1}{5} - e^{-x}.$$

Se trabaja el método de interpolación de Newton-Raphson:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x)}{f'(x)},$$

Se interpola:

Tabla 2 Interpolación.

n	$x_{n+1}$	$f(x)$	$f'(x)$
0	2	-0.464664716	0.064664716
1	9.18575353	0.837253195	0.19989751
2	4.99734122	$6.22412955 \times 10^{-3}$	0.193022974
3	4.965132583	$3.54129 \times 10^{-6}$	0.193022974
4	4.965114232	0	0.193022846

Se obtiene:

$$x = 4.9651142232$$

Se aplica el inverso y se tiene:

$$\lambda = \frac{1}{x} = 0.201405235.$$

Ahora se tiene:

$$\lambda T = b = \frac{hc}{4.9651142232 k} = 2.8978 \times 10^{-3}, \quad (\text{Mendoza Santos Juan Carlos, 2010})$$

Se despeja h a partir del conocimiento de c, que es la velocidad de la luz y k la constante de Boltzman y b la constante de desplazamiento de Wien, se puede despejar h.

$$h = \frac{b \cdot 4.9651142232 k}{c},$$

Se sustituyen los valores b, k y c

$$h = 6.626196668 \times 10^{-34}.$$

Esta es una de las formas de encontrar la constante de Planck la cual será aplicada al modelo para determinar el campo Hamiltoniano e identificar variables externas que impacten los resultados. (Mendoza Santos Juan Carlos, 2010)

#### 4.1.6.4 Ecuación de *Schrödinger*.

La ecuación de Schrödinger predice el comportamiento futuro de un sistema dinámico en un estado de tiempo  $t$ , esto a partir del valor de la función de onda en ese instante de tiempo, es decir que la teoría debe predecir los valores de la función de onda, en cualquier instante de tiempo. La ecuación de Schrödinger debe cumplir característica como linealidad y homogeneidad, es decir que  $\Psi_1$  y  $\Psi_2$  sean soluciones de la ecuación, esto hace que se cumpla el principio de superposición, a su vez identifican que los estados son parte del sistema de estudio y que deben ser una solución al nuevo sistema. (Dr. Silvera Piris, 1999)

La segunda característica es que debe ser diferencial de primer orden respecto al tiempo y finalmente debe cumplir el principio de correspondencia, es decir se debe parecer a las ecuaciones de la física clásica de Newton o de Maxwell, siendo validado para cualquier tipo de movimiento y tener constantes universales como  $h$ . (Dr. Silvera Piris, 1999)

#### *Ecuación de Schrödinger*

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V) \Psi = 0$$

$\frac{\partial^2}{\partial x^2}$  Segunda derivada con respecto a  $X$

$\Psi$  Función de Onda

$m$  Masa del electrón

$h$  Constante de Planck

$E$  Energía total del electrón (depende de sus coordenadas  $x,y,z$ )

$V$  Energía Potencial del electrón (depende de sus coordenadas  $x,y,z$ ) (Educastur, 2015)

#### *4.1.6.5 Teoremas de la Física Cuántica.*

##### *4.1.6.5.1 Principio de Superposición.*

El principio de superposición a nivel general tiene cuatro características, la individualidad, separabilidad, percepción como un todo y contribución, ahora en física cuántica se tiene una particularidad donde la superposición de estado se ve como las posibilidades de estar en un sistema, sin embargo la contribución se ve limitada al saber que los coeficientes que acompañan a las individualidades no representan información directa del sistema, en este punto se debe incluir el concepto de probabilidad aplicado a la posibilidad que se encuentre en el estado correspondiente al ser observado.

Para entender mejor el principio se da el ejemplo del gato de Schrödinger, no sin antes explicar las cuatro características nombradas en el párrafo anterior desde la física clásica para hacerlo más claro, esto a partir de un ejemplo.

Cuando se habla de un todo se refiere al concepto general que se tiene sobre algo, es decir si se habla de una sala que la compone un TV, un sofá, una alfombra, sillas individuales y dos mesas una de centro y una esquinera, donde a su vez todos los implementos se pueden cambiar de lugar y continua el concepto de sala, donde cada uno contribuye a formar el concepto de un todo, individualidad porque cada uno de los elementos son identificables y al poder cambiar los elementos de lugar hacen que sean separables. (Rodríguez J, 2007)

Diferente ocurre en la física cuántica, el ejemplo más “claro” es el del Gato de Schrödinger,



### Ilustración 3

#### Gato de Schrödinger



**Nota:** El gato de Schrödinger, ejemplo gráfico direccionado a la física cuántica Fuente: (Astromía, 2015)

Donde a partir de un detector de electrones, un martillo y una botella de veneno dentro de un lugar cerrado en el cual se encuentra el gato adentro, se realiza un experimento, si el electrón toma la ruta A el martillo golpeará la botella con veneno y posteriormente morirá el gato, ahora si con la misma probabilidad del 50%, el electrón toma la ruta B el martillo no se activará y el gato no morirá, sin embargo el electrón tiene la capacidad de estar en dos lugares al mismo tiempo es decir podrá tomar la ruta A y B en un mismo instante, en este caso el gato estará vivo y muerto a la vez.

$$|\text{estado del gato}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|\text{vivo}\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|\text{muerto}\rangle$$

La probabilidad de que el gato este vivo seria

$$p(\text{vivo}) = \left| \frac{1}{\sqrt{2}} \right|^2 = \frac{1}{2} ,$$

Probabilidad del gato muerto

$$p(\text{muerto}) = \left| \frac{1}{\sqrt{2}} \right|^2 = \frac{1}{2}$$

Esto indica que solo tiene dos posibilidades estar vivo o muerto. (Rodríguez J, 2007)

#### 4.2.3.5.2 Principio de Incertidumbre.

“Es imposible conocer con exactitud y simultáneamente la *posición* y la *cantidad de movimiento* de una partícula, de modo que el producto de los errores cometidos en la determinación de cada una de dichas magnitudes cumplen la relación” (González Morales, 2015)

#### Ecuación 2 Principio de Incertidumbre

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

Fuente: El Principio de Incertidumbre, José Antonio Montiel Tosso

Donde  $\Delta x$  es la incertidumbre en la medida de las coordenadas de la partícula.

$\Delta p$  La incertidumbre en la medida de la cantidad de su movimiento.

$h$  Constante de Planck. (González Morales, 2015)

#### 4.1.7 Pensamiento Económico y su Lineamiento con la Física Cuántica.

Los teoremas económicos se pueden deducir con base en dos alternativas, la primera matemática y la segunda bajo el concepto literario, las dos vistas como métodos que permiten llegar a deducciones dadas a partir de premisas, en la primera se cuantifican y se usa con ello la lógica de dichas premisas:

Defensores de la economía matemática como Alfredo Marchall, exponen en sus escritos que las condiciones económicas van variando... ante ello las nuevas doctrinas, complementan las antiguas, las ensanchan, las desarrollan y a veces la corrigen, así mismo afirma que las variaciones en la economía también son difíciles de manejar partiendo del hecho conocido que los efectos son dados por causas económicas que no son fáciles de identificar (Marshall, 1931). Finalmente lo que permite la lógica matemática es dar una claridad inherente a los modelos, haciendo que el error se vea reflejado lo cual permite su corrección de forma casi inmediata.

Otro economista Paul Samuelson dice:

*...puede demostrarse, basándose en la literatura, que los métodos que emplean símbolos han significado una ayuda para alcanzar un pensamiento claro y mejorar el análisis; porque quienes emplearon este lenguaje abstracto se vieron forzados a formular sus conceptos sin ambigüedades y, por consiguiente, el camino estuvo abierto para modificaciones y salvedades.* (Revista Latinoamericana de Educación Inclusiva, 2009)

De igual importancia se puede escribir sobre Daniel Bernoulli y la teoría de la utilidad, “teoría diseñada para analizar las elecciones individuales en situaciones de riesgo”, dicha teoría se presenta inicialmente con Nicolás Bernoulli en el año de 1713 a lo cual indicaba:

*Pedro arroja una moneda al aire una y otra vez hasta que al caer la misma al suelo aparece “cara” él se compromete a entregar a Pablo un ducado si la “cara” aparece en la segunda caída, cuatro ducados si aparece en la tercera, ocho si aparece en la cuarta, así sucesivamente, doblándose el número de ducados en cada caída adicional. (Sánchez Molinero, 2015).*

Básicamente la solución dada por Benoulli y posteriormente por Cramer es la de

*“Calcular la esperanza matemática de la paradoja pero en términos de utilidad esperada, obviando los términos monetarios donde a partir de la identificación de restricciones monetarias y las restricciones sobre la función de utilidad se logra que la esperanza matemática tenga un valor finito, posteriormente y después de conocida la utilidad esperada del juego se hallara el precio máximo, en dinero que el sujeto estaría dispuesto a pagar, el primer supuesto es la ganancia en términos de utilidad igual a  $\bar{u}$  , el sacrificio máximo, también en términos de utilidad, que el individuo estará dispuesto a afrontar será precisamente  $\bar{u}$  , lo cual permite calcular la cantidad de dinero,  $r$ , tal que el pago de la misma suponga por el sujeto una pérdida de utilidad igual a  $\bar{u}$  .” (íbid).*

Finalmente y entre muchos de los economistas e incluso matemáticos puros, estadísticos y hasta físicos como Louis Bachelier con el modelo de caminata aleatoria la cual permitía describir la dinámica de los precios, Thomas Perronet Thompson el cual aplica el cálculo diferencial para establecer la ganancia máxima o Johann Heinrich von Thünen con su teoría de la productividad marginal con exactitud matemática, entre otros estos modelos que explican comportamientos que ayuden a minimizar el riesgo o predecir precios como N.F. Canard a través de la teoría del precio afirmando “que existe necesariamente una diferencia entre el precio

demandado por los vendedores en el mercado y el precio ofrecido por los compradores” (George J, 1951)

Y su ecuación

$$x:BN :: L - x:bn,$$

$$bnx = BN (L - x)$$

Fuente: (Stigler J, 2015)

#### 4.1.7.1 Principios y Teorías Compartidas Entre Economía y Física Cuántica

Para hablar de la economía y su relación con la Física clásica inicialmente, se debe hacer referencia a Newton y con ello al reduccionismo cartesiano<sup>2</sup> el cual permite escribir sobre el Principio de Causalidad, para lo cual autores como Milton Friedman consideran a la economía como una ciencia semejante a la física, este principio lleva a crear paradigmas con fundamentaciones antológicas<sup>3</sup> diferentes, donde se ve a la física como uno de los métodos principales para el saber científico, esto ante tres premisas, la primera su método donde a partir de su planteamiento y posteriores procesos se permite llevar a la práctica y con ello verificación de los resultados los supuestos iniciales, es así como Friedman reconoce a la aplicación de la física en la economía como la ciencia que permite una correcta metodología por excelencia. Esta argumentación lleva a que se controlen fenómenos económicos siendo este el segundo argumento y finalmente se direcciona al tercer y último argumento el principio de causalidad. Donde Soldevilla indica “explicación causal, que determina unívoca e invariablemente las

---

<sup>2</sup> Reduccionismo hace referencia a la pertenencia a las categorías lógicas distintas y cartesiano se relaciona en como la mente convierte una idea en un prejuicio. (Henríque, 2009)

<sup>3</sup> Referido a la realidad y no al propio conocimiento de la realidad.

relaciones entre las cosas, según el principio de que causas iguales producen siempre efectos iguales”. (Retolaza, 2007).

Sin embargo, Hume ( Enquiry VII) identifica una nueva fase de la causalidad ontológica, llegando a cuestionarla y teniendo como base la causalidad gnosológico, esto lo afirma a partir de:

*Sólo podemos observar fenómenos sucesivos que se dan con cierta regularidad, y está regularidad, y no la causalidad, será la que dé lugar al concepto de «leyes naturales»; generadas, no por la realidad, sino por el ser humano, para intentan definir el modo en el que se dan esas regularidades observadas. (ibid).*

Otra relación con la física está a partir del paradigma de Newton y su afirmación a que el mundo es complejo, con base en el sistema formal (ideas) y el sistema natural (mundo real), Newton establece que se debe codificar el sistema natural en uno creado por el investigador, al cual define como el sistema formal, la información nunca se completa, convirtiendo así al mundo y con ello en este caso específico la economía en algo complejo, esto también permite afirmar que el concepto de complejidad es interdisciplinario, sin embargo se hace necesario entenderlo conceptualmente, para ello Edmonds afirma:

*La complejidad es la propiedad del sistema del mundo real que se manifiesta en la incapacidad de cualquier tipo de sistema formal para capturar adecuadamente todas sus propiedades, su comportamiento completo, aunque se disponga de una información completa de sus componentes y sus interrelaciones (Valderas, 2010).*

La complejidad tiene propiedades, para Pavard y Duddale (2000), se tiene a la Emergencia y Auto-Organización, esta propiedad es la diferencia entre un sistema complejo y uno complicado, fundamentándolo en la generación de estructuras, identificación de patrones de comportamiento o propiedades entre los elementos... identifica a las conexiones entre los sistemas las cuales asevera que no solo pasaran por el todo el sistema sino serán modificadas durante el proceso.

Posteriormente hacen referencia a que los sistemas son abiertos, lo cual permite que la energía y la información fluyan, accediendo a una evolución constante que evita un equilibrio. Como tercera propiedad se entiende a la descomponibilidad limitada esto lo hace un sistema dinámico, haciendo que se auto-organice y que el sistema tenga que reestructurarse con frecuencia, no permite que un elemento controle el sistema ya que ninguno se conoce en su totalidad.

También se habla sobre las relaciones no lineales adaptativas las cuales evolucionan en el tiempo, haciendo referencia a que las relaciones se retroalimentan positiva o negativamente, otra propiedad es la dependencia del pasado, donde a partir de un cambio identificado en la historia se puede reconocer el “efecto mariposa”, creando así una sensibilidad a corto plazo que tendrá efecto en el largo plazo. Continúan con la ausencia del determinismo, está evita que se anticipe con certeza la evolución futura y finalmente la propiedad del encadenamiento de sistemas complejos, este última afirma que los sistemas complejos crean más sistemas complejos o pertenecen a otros sistemas complejos. (Olmedo Fernández Elena, 2005).

Estás teorías son válidas en la actualidad y más aún cuando se retoman hipótesis como la del caos, la cual tiene como base un sistema complejo y a su vez es denominada por el principio de incertidumbre, aplicado a la física cuántica se puede identificar en el átomo el cual internamente es definido por el caos siendo un comportamiento es normal , es así como lo vuelve algo excepcional, permitiendo que se logren establecer aproximaciones a un conocimiento futuro, es importante definir caos para efectos de esta investigación siendo los movimientos irregulares que se podrían pensar son al “azar”, movimientos no lineales pero si ondulatorios que deben ser cuantificados y con ello aproximados a una explicación que permita entender fenómenos que en la actualidad generan incertidumbre.

Desplazándose por el principio de la anterior afirmación “incertidumbre” se debe hablar desde economía a partir de la teoría de las expectativas, basada en dos hipótesis la racional y la adaptativa, así las expectativas racionales se basan en la información y la adaptativa basada en el equilibrio entre oferta y demanda, y el pleno empleo, (Jorge, 2002), la expectativa racional tiene como hipótesis que las predicciones de los valores futuros de variables económicas relevantes no son sistemáticamente erróneas y que los errores son aleatorios, estas expectativas fueron nombradas por Robert Lucas, donde se generan modelos para tomar decisiones a partir de situaciones de incertidumbre. (Sargent, 1996).



#### 4.1.7.2 Principio de Incertidumbre en la Economía.

Este principio visto desde la Física Clásica y la Física Cuántica y específicamente desde su precursor Heisenberg, permite ser interpretado como: “La imposibilidad de conocer simultáneamente con exactitud la posición y el momento de una partícula. Si la indeterminación en la posición es  $\Delta x$  y la indeterminación en el momento es  $\Delta p$ , resulta  $\Delta x \cdot \Delta p \cong \hbar/2$ ” (unalmed, 2015).

Para entender mejor este concepto se analizará a partir de la mecánica matricial la cual permite representar las propiedades físicas de una partícula, para ello Heisenberg demostró que:

*Las matrices en general, no siguen la famosa regla "el orden de los factores no altera el producto". Dicho de otra manera, si A y B son matrices, entonces  $A \times B$  no es igual a  $B \times A$ . Ahora, si dos matrices que representaban diferentes propiedades de una partícula, no cumplían la propiedad de que  $A \times B = B \times A$ , entonces era imposible medir simultáneamente con alta precisión estas dos propiedades. Siempre existiría un grado de incertidumbre en la medición. El orden en que se midieran las propiedades sería relevante. No sería lo mismo medir A y después B que B y después A. (Ferrer del Valle, El Principio de Incertidumbre, La Incerteza en Física y la Visión de Peter Landsberg, 2011).*

Al anterior aporte se le unió Schrödinger con la Mecánica Ondulatoria en donde a diferencia de la Mecánica Matricial teniendo como base las matrices, se presenta la función de onda representada por  $\Psi(x, t)$ , la cual permite ser elevada al cuadrado, existiendo una probabilidad de encontrar una partícula en  $dx$ .

Lo anterior hace que Heisenberg lleve el concepto inicialmente planteado a la física cuántica. Afirmando que:

La observación de un fenómeno perturba el objeto observado, por lo que el observador debe dar cuenta de ello". Lo más interesante es que este principio analizado desde las matemáticas para lo cual este mismo autor atribuye dos tipos de incertidumbre la primera a partir de los supuestos creados por el hombre y la segunda a partir de la comprensión de fenómenos, ejemplo de ello es teorema de Kurt Gödel "cualquier estructura matemática que incluya la aritmética hace que dicha estructura sea incompleta". (Ferrer del Valle, El Principio de Incertidumbre, La Incerteza en Física y la Visión de Peter Landsberg).

Sin embargo, para la comprensión desde el ámbito de la economía se hace necesario nombrar a Isaac Asimov, en su libro Cien Preguntas Básicas de la Ciencia, en la pregunta 53 sobre el concepto del principio de incertidumbre la identifica como:

*Cuando uno sabe algo con exactitud acerca de un objeto, tiene certidumbre sobre ese dato, sea cual fuere. ¿Y cómo llega uno a saber una cosa? De un modo o de otro, no hay más remedio que interaccionar con el objeto. Hay que pesarlo para averiguar su peso, golpearlo para ver cómo es de duro, o quizá simplemente mirarlo para ver dónde está. Pero grande o pequeña, tiene que haber interacción. Pues bien, esta interacción introduce siempre algún cambio en la propiedad que estamos tratando de determinar. O digámoslo así: el aprender algo modifica ese algo por el mismo hecho de aprenderlo, de modo que, a fin de cuentas, no lo hemos aprendido exactamente... a partir de lo anterior....se desea medir la temperatura del agua caliente de un baño. Metemos un termómetro y medimos la temperatura del agua. Pero el termómetro está frío, y su presencia en el agua la enfría una chispa. Lo que obtenemos sigue siendo una buena aproximación de la temperatura, pero no exactamente*

*hasta la billonésima de grado. El termómetro ha modificado de manera casi imperceptible la temperatura que estaba midiendo. (Isaac, 1977).*

La física cuántica, maneja magnitudes observables, ciertas e inciertas, lo cual permite que la incertidumbre sea probabilizable, para ello se deben conocer parejas de magnitudes, como posición y momento, donde llevado a la economía podría ser oferta y demanda (Martínez Pirla, 1999) o más claramente y desde la combinación de economía y finanzas, rentabilidad y riesgo. Desde las teorías económicas se debe relacionar a Keynes y de Kahn donde los dos fundamentaban la permanencias de la propensión marginal al consumo en función de la variación de la renta de los consumidores, argumentando en conjunto con la dependencia de las variaciones en el volumen de inversión o del consumo de los incrementos iniciales de dicha magnitud, el llamado factor multiplicador. “íbid”. Se retoma en este punto el “efecto mariposa”, donde una variable permite que se efectúen cambios en el sistema.

Continuamente se debe nombrar a Hyman P. Minsky quien en línea con Keynes afirma que “el comportamiento de una economía monetaria con cierto grado de desarrollo financiero, crece en condiciones de incertidumbre no cuantificable”. (Brambila Urías Homero, 2000), así mismo Minsky y con base en la relación expectativa-incertidumbre identifica que los agentes prefieren la liquidez cuando dicha incertidumbre se agudiza, ejemplo de lo anterior se visualiza en la crisis subprime, bajo la afirmación que las expectativas no son cuantificable, si se permite identificar que no se debería caer en una especulación totalitaria dominada por los agentes económicos, “no se debe permitir que el desarrollo del capital en un país se convierta en un subproducto de las actividades propias de un casino, es probable que aquel se realice mal” (Keynes , 2003), es así como la incertidumbre se refleja en las esperanzas originadas en el

rendimiento probable y en el cambio favorable de la inversión. En este punto se identifican cómo los fenómenos económicos aumentan o disminuyen las expectativas y con ello la incertidumbre, para continuar con la sustentación sobre la relación de incertidumbre dada en la física y direccionada a la economía se tiene como ejemplo de ello los sentimientos que están expuestos a la racionalidad de los agentes económicos, también conocido como la noción de *homo economicus* (Samuel, 2010), este permite identificar cómo un mercado financiero puede llevar a cabo las elecciones y/o decisiones, dados a partir de las intenciones, creencias y deseos, teniendo como características la raza, sexo y edad, entre otras. La existencia del *homo economicus*, afirma que existe una conducta maximizadora, donde a partir de un pensamiento netamente económico y de su aplicación en los agentes se observa que analíticamente la elección se realiza a partir de múltiples opciones de acciones, a esto se le llama conjunto de estrategias en el que se tiene como objetivo lograr una mayor utilidad. Así mismo, la utilidad tiende a ser predictiva, siempre en pro de encontrar una satisfacción “ideal” o más “elevada”.

La incertidumbre se identifica en la multidimensionalidad de los agentes, donde las elecciones pueden ser basadas en experiencias, tendencias, valores y en general en premisas que no son estándar, un ejemplo de ello es la teoría de juegos, donde a partir de diferentes estrategias el agente busca maximizar su utilidad, en ellas entran procesos particulares de elección las cuales pueden ser motivantes (Guzmán Leriche, 2005), es así como la presencia de la racionalidad o la inexistencia de ella permite que el agente asuma un riesgo a partir de su perfil en este campo.

Identificar dicho perfil es tener la claridad de aspectos que se están dispuestos a asumir en las inversiones, este puede ser determinado por el objetivo de la inversión, tiempo, edad, tasa de

retorno, en general reacciones ante variables inesperadas que pueden generar pérdidas, sin embargo la incertidumbre en los perfiles de riesgos se tratan de disminuir a través de análisis que permiten ser a los especuladores inversionistas de cobertura, estos análisis acceden a la identificación de un punto de equilibrio, así como una máxima pérdida e inclusive identificar una posible rentabilidad. Logrando así minimizar las probabilidades de llegar a un escenario no estudiado y con ello no evaluado para su control y/o estimación. En el mercado de valores se conocen medidas de evaluación de ajuste al riesgo tales como el alfa de Jensen, el índice de Treynor y/o el índice de Sharp.

#### *4.1.7.3 Alfa de Jensen.*

“Este es un indicador de medida de carteras, permite establecer el rendimiento ajustado por el riesgo con relación a una determinada cartera de referencia” (José C. Q., 2004), donde:

##### *Ecuación 3 Alfa de Jensen*

$$R_{ft} - r_t = \alpha_f + B_f(R_{mt} - r_t) + \varepsilon_{ft}$$

$R_{ft}$  Rendimiento del Fondo.

$r_t$  Rendimiento Activo Libre de Riesgo.

$B_f$  Sensibilidad del fondo frente a los excesos de rendimiento de la cartera de referencia.

$\alpha$  Exceso de rendimiento del fondo que se esperaría por invertir en dicho fondo si el exceso de rendimiento de la cartera de referencia es igual a cero.

Las condiciones anteriores postulan que el fondo debe tener un rendimiento asociado al tipo de interés libre de riesgo.

$$\alpha_f > 0$$

Lo anterior identifica una excelente gestión, lo contrario sería una mala gestión, sin embargo es importante tener en cuenta que la selección de los activos (ibid), así mismo se debe analizar una posible existencia entre los coeficientes y las comisiones que se direccionan a los fondos, a mayor comisión generada mayor eficacia de la cartera, este puede ser una medición para verificar la eficiencia y controlar que ésta se mantenga o incremente.

#### *5.1.1.2 Índice de Treynor.*

Este expresa la prima de riesgo por unidad de riesgo sistemático de una cartera, teniendo en cuenta que la prima de riesgo es la diferencia entre la rentabilidad anual media de cada cartera y el interés libre de riesgo,  $(E_c - R_f)$ , donde el riesgo sistemático de una cartera se mide como  $\beta_c^2 \sigma_M^2$ , que el valor de  $\sigma_M$ , no depende de la composición de la cartera, finalmente el índice de Treynor queda definido como se postula en la siguiente ecuación (ibid):

#### *Ecuación 4 Índice de Treynor*

$$T_c = \frac{E_c - R_f}{\beta_c}$$

Para concluir entre mayor el índice de Treynor se podrá afirmar que la gestión de la cartera es más óptima, adicionalmente este índice tiene una relación directa con el modelo CAPM, donde se menciona la minimización del riesgo a través de la diversificación, haciendo que el único riesgo que no se pueda anular sea el riesgo sistemático, en este punto el índice de Treynor es base para tener una jerarquía entre los activos.

#### 4.1.7.3 Índice de Sharp.

“Permite relacionar la media y la desviación estándar del diferencial de rentabilidad de un fondo con respecto a los activos libres de riesgo, de forma que indica la rentabilidad adicional que se obtiene por unidad de riesgo total asumida” (Ruiz Martín, 2001), con ello se afirma que a diferencia del índice de Treynor, el de Sharp involucra un riesgo que denomina riesgo por diversificación de la cartera, cabe anotar que la selección el índice dependerá de la participación del fondo en la cartera.

#### *Ecuación 5 Ratio de Sharpe*

$$\text{media } (R_{jt} - R_{lt}) / \text{desviación estándar } (R_{jt} - R_{lt})$$

#### 4.1.8 Incertidumbre a Partir del Tipo de Inversión y Preferencia por Liquidez.

Cuando se hace relación a la preferencia por la liquidez a operaciones trasfronterizas, demanda del dinero y finalmente a uno de los principios de finanzas cuánticas siendo esté la incertidumbre la cual está inmersa en la hipótesis de Minsky denominada Inestabilidad Inherente, no se deja de pensar en el mercado de divisas, el cual tiene manejo a nivel mundial con oferentes y demandantes, siendo participantes desde las corporaciones, brokers, bancos centrales hasta personas naturales. (Efraín, 2001).

Los tipos de operaciones que se pueden realizar con divisas están entre contratos Spot (ventas al contado) que significa un 70% de las operaciones Forex en Tokio, diferente ocurre en el mercado Forex en Estados Unidos, el cual esté centralizado en el intercambio del dólar con el euro, el Yen Japonés y el marco suizo. (R. Jimenez, 2015). Para dimensionar aún más el mercado

de divisas se hace importante analizar la encuesta trienal realizada por el Banco Internacional de Pagos (BIS), en colaboración con 53 bancos centrales.

#### *Ilustración 4*

##### *Distribución de las Transacciones por Moneda en el Mercado Global de Divisas.*

CUADRO 1 DISTRIBUCIÓN DE LAS TRANSACCIONES POR MONEDAS EN EL MERCADO GLOBAL DE DIVISAS (En porcentaje) (1)						
Monedas	1998	2001	2004	2007	2010	2013
Dólar USA.....	86,8	89,9	88,0	85,6	84,9	87,0
Euro (2).....	52,5	37,9	37,4	37,0	39,1	33,4
Yen.....	21,7	23,5	20,8	17,2	19,0	23,0
Libra esterlina.....	11,0	13,0	16,5	14,9	12,9	11,8
Dólar australiano.....	3,0	4,3	6,0	6,6	7,6	8,6
Franco suizo.....	7,1	6,0	6,0	6,8	6,3	5,2
Dólar canadiense.....	3,5	4,5	4,2	4,3	5,3	4,6
Peso mexicano.....	0,5	0,8	1,1	1,3	1,3	2,5
Renminbi.....	0,0	0,0	0,1	0,5	0,9	2,2
Dólar neozelandés.....	0,2	0,6	1,1	1,9	1,6	2,0
Corona sueca.....	0,3	2,5	2,2	2,7	2,2	1,8
Rublo.....	0,3	0,3	0,6	0,7	0,9	1,6
Dólar Hong-Kong.....	1,0	2,2	1,8	2,7	2,4	1,4
Corona noruega.....	0,2	1,5	1,4	2,1	1,3	1,4
Dólar de Singapur.....	1,1	1,1	0,9	1,2	1,4	1,4
Lira turca.....	—	0,0	0,1	0,2	0,7	1,3
Won coreano.....	0,2	0,8	1,1	1,2	1,5	1,2
Rand sudafricano.....	0,4	0,9	0,7	0,9	0,7	1,1
Real brasileño.....	0,2	0,5	0,3	0,4	0,7	1,1
Rupia india.....	0,1	0,2	0,3	0,7	1,0	1,0
Corona danesa.....	0,3	1,2	0,9	0,8	0,6	0,8
Zloty polaco.....	0,1	0,5	0,4	0,8	0,8	0,7
Nuevo dólar de Taiwán.....	0,1	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5
Otras monedas.....	9,4	7,5	7,7	9,1	6,4	4,4

Nota: Distribución del mercado Fuente: (Survey, 2016)

- (1) La suma de los porcentajes alcanza el 200%, ya que en cada operación intervienen dos monedas.
- (2) Los datos de transacciones en euros en 1998 se refieren a las monedas de los países integrantes del SME. Fuente: (Survey, 2016).

Es interesante ver cómo para el último trienal analizado, el mercado de divisas ha tenido un crecimiento en algunos casos menos acelerados como ocurrió con el dólar, contrario ocurre con el Euro que ha tenido una notable disminución, esto se adjudica a temas económicos que impactaron las transacciones con la moneda.



Las transacciones por pares de monedas en el mercado global de divisas más tranzadas a 2013 fueron:

*Ilustración 5*

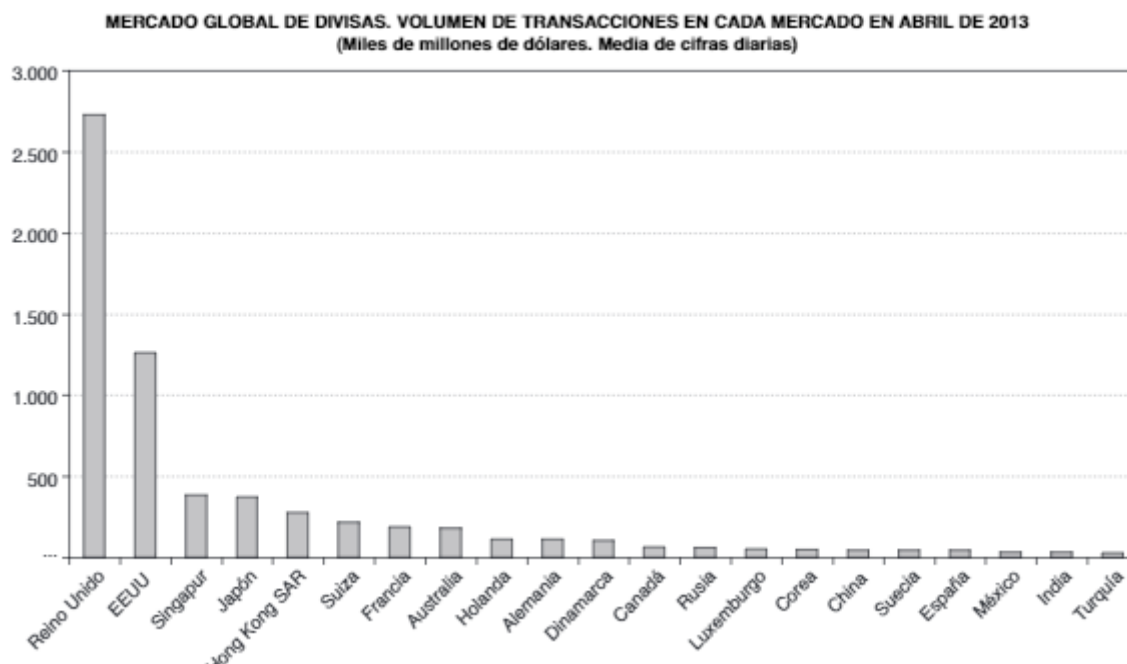
*Distribución de las Transacciones por Pares de Monedas en el Mercado Global de Divisas.*

CUADRO 2 DISTRIBUCIÓN DE LAS TRANSACCIONES POR PARES DE MONEDAS EN EL MERCADO GLOBAL DE DIVISAS En porcentaje			
	1998	2010	2013
Dólar USA/euro .....	—	27,7	24,1
Dólar USA/marco .....	20,3	—	—
Dólar USA/otras SME .....	12,3	—	—
Dólar USA/yen .....	17,9	14,3	18,3
Dólar USA/libra esterlina .....	8,2	9,1	8,8
Dólar USA/dólar austral .....	2,9	6,3	6,8
Dólar USA/otras monedas .....	24,2	27,6	29,0
Euro/yen .....	—	2,8	2,8
Euro/libra esterlina .....	—	2,7	1,9
Euro/otras monedas .....	—	5,9	4,7

**Nota:** El mercado de divisas presenta transacciones diarias por pares de monedas a nivel mundial, siendo presentadas en la ilustración anterior. Fuente: (Survey, 2016).

La moneda más tranzada al último trienal es el Dólar/Euro, presenta una disminución de su participación la cual está siendo direccionada a un aumento porcentual en la paridad Dólar Usa/Yen, teniendo un valor en el 2010 de 14,3% vs 118,3% en el 2013, esto se debe a su vez a la crisis en la Eurozona con respecto a una incertidumbre en la eliminación de la moneda colectiva y con ello al rompimiento de relaciones comerciales.

*Tabla 3 Mercado Global de Divisas, Volumen de Transacciones en Cada Mercado a Abril de 2013.*



**Nota:** Gráfica del mercado global de divisas con información de 21 países a nivel mundial Fuente: (Survey, 2016)

Es inevitable no afirmar que el mercado de divisas es global, donde el mayor número de operaciones registradas fue realizado en el Reino Unido, seguido por Estados Unidos y posteriormente Singapur. La gráfica muestra 21 países de los 53 que en los que se realiza la encuesta, dejando de lado zonas como América del Sur que si bien no son las que más tranzan si tiene un nivel de participación que se podría suponer van en incremento a años anteriores.

#### 4.1.9 Los Índices Bursátiles y su Importancia en el Mercado de Valores

Los índice bursátiles son importantes por la medición a la cual se llevan análisis en el mercado de valores, se pueden identificar por la representación del volumen de transacciones o

por la información que brindan en su cotización. Al interior de estos se tiene una dimensión matemática que permite identificar variaciones de homogeneidad o de representatividad del conjunto agregado por el cúmulo de fenómenos individuales, que se tratan de reflejar en dicho índice. Existe un problema reconocido por autores como Shon Shan Pu, Klein entre otros que hablan sobre la agregación en las fórmulas de los índices. (J.M., 1975).

### Ilustración 6

#### Composición General de los Índices.

INDICES EN GENERAL				INDICES DE PRECIOS	
NUMEROS INDICES (*)	CONJUNTO	SIMPLE	$I = \frac{X_i}{X_{i0}} \quad \text{ó} \quad I = \frac{X_i}{X_{i0}} \times 100$	SIMPLE	$I_p = \frac{P_i}{P_{i0}} \quad \text{ó} \quad I_p = \frac{P_i}{P_{i0}} \times 100$
		SIN PONDERAR	MEDIA ARITMETICA	$a = \frac{1}{n} (I_1 + \dots + I_n)$	{ LASPEYRES (L) $\omega_i = p_{i0} \ q_{i0}$ PAASCHE (P) $\omega_i = p_{i0} \ q_i$
			MEDIA GEOMETRICA	$G = \sqrt[n]{I_1 \cdot \dots \cdot I_n}$	
			MEDIA ARMONICA	$H = \frac{n}{\frac{1}{I_1} + \dots + \frac{1}{I_n}}$	
			AGREGATIVO SIMPLE	$A = \frac{X_1 + \dots + X_n}{X_{10} + \dots + X_{1n}}$	
		PONDERADO	MEDIA ARITMETICA	$a' = \frac{I_1 w_1 + \dots + I_n w_n}{w_1 + \dots + w_n}$	FISHER (F) $F = \sqrt{L \times P}$
			MEDIA GEOMETRICA	$G' = \sqrt[n]{I_1^{w_1} \cdot \dots \cdot I_n^{w_n}}$	
			MEDIA ARMONICA	$H' = \frac{w_1 + \dots + w_n}{\frac{w_1}{I_1} + \dots + \frac{w_n}{I_n}}$	
			AGREGATIVO PONDERADO	$A' = \frac{X_1 w_1 + \dots + X_n w_n}{X_{10} w_1 + \dots + X_{1n} w_n}$	

**Nota:** Se presenta la información sobre los componentes de un índice financiero, esto con el objetivo de dimensionar la composición del índice DXY. Fuente: (Dasneces, 2016)

Las fórmulas más utilizadas hacen referencia a la media aritmética ponderada en el mayor número de aplicaciones y la media agregativa simple. En el caso explícito del índice USDXY o también conocido como el índice del Dólar DXY, el cual mide el valor del Dólar USA con

relación a una canasta de monedas a las cuales se les llamara componentes, (Euro (EUR), Yen Japonés (JPY), Libra Esterlina (GBP), Dólar Canadiense (CAD), Corona Sueca (SEK), Franco Suizo (CHF)). La composición porcentual respectiva es la siguiente; 57,6%, 13,6%, 11,9%, 9,1%, 4,2%, 3,6%. El cual es calculado cada 15 segundos, en tiempo y valores reales, a partir de una media geométrica ponderada del valor del dólar con sus componentes.

#### 4.1.10 Antecedentes Históricos Sobre la Física Cuántica Aplicada a las Finanzas

##### 4.1.10.1 Modelo Continuo Quantum-Black Scholes

Las ecuaciones que presenta el modelo son basadas en procesos estocásticos, donde se identificara como proceso de Wiener si cumple características como:

1.  $Z(0) = 0$
2. Para cualquier  $t > 0$  a  $a > 0$ ,  $Z(t-a) - Z(t) \sim N(0, a)$ .
3. Para cualquier  $t > 0$  y  $a > 0$ ,  $Z(t-a) - Z(t)$  son independientes de  $\{Z(s) \mid 0 \leq s < t\}$

El proceso de Wiener describe la evolución de una variable con distribución normal, donde la derivada es 0 y la varianza es 1 por unidad de tiempo, es decir que si tenemos las variables  $X_0$  el tiempo es 0, es así como el tiempo  $t$  es normalmente distribuida con media  $X_0$  y varianza  $t$ . El proceso generalizado de Wiener identifica la evolución de una variable normalmente distribuida con una derivada  $a$  y varianza  $b^2$  por unidad de tiempo, donde  $a$  y  $b$  son constantes, para finalmente tener una ecuación donde identifica que el precio de determinado activo tiene una es Wiener log-normal.

$$dS = S\mu dt + S\sigma dZ$$

- a) Donde la característica  $\mu$  (tasa libre de riesgo) y  $\sigma$  (volatilidad) del activo, son constantes durante el tiempo que dura la opción.
- b) No se tienen costos de transacciones asociadas a la cobertura del portafolio.
- c) El activo subyacente no paga dividendos durante la vida de la opción.
- d) No se tiene posibilidad de arbitraje, es decir se tiene el mismo retorno.
- e) La compra y venta es de forma continua.
- f) Se asume que es divisible la venta del activo subyacente. (M. E. Danae Duana Ávila).

Lo anterior permite afirmar que la perspectiva de las ecuaciones de Black-Scholes es de forma continua como la ecuación de Schrödinger, la diferencia radica en que el parámetro  $h$ , la cual representaría la cantidad de arbitraje en la ecuación de Schrödinger a partir de variables como la rapidez en los cambios, de los precios así como la rapidez en la infusión de la información y de la desigualdad en la riqueza de comerciantes, obtendría mejores resultados de ser aplicado el modelo Black-Scholes ajustando de forma correcta la variable  $h$  y sumando la aplicación no del proceso de Wiener sino del proceso Ornstein-Uhlenbeck que podría llegar a valorar la opción de forma más acertada ya que se indicaría que los mercados no son eficientes:

“Modelo para procesos estacionarios, cuánticamente se establece al proceso como un modelo para las velocidades de la partícula sumergida en un fluido, sometida a los choques de las moléculas que lo rodean, este a diferencia del proceso Wiener, no requiere que las viscosidades de los fluidos sean infinitas”. (Cabaña & M. Cabaña, 2014)

#### *4.1.10.2 Nuevos Modelos de Juegos Cuánticos (Teoría de juegos desde la perspectiva de la física cuántica).*

Cuando se escribe sobre la teoría de juegos se reconoce básicamente que son teorías de contra parte, las cuales tienen reconocimiento por métodos como el dilema del prisionero, el problema de Monty Hall y juegos del mercado cuántico, en las que dos agentes están tratando de asegurar el mejor beneficio a partir de dos premisas, cooperar con otros jugadores o hacerlo de forma individual, para ello se necesitan los actores y las estrategias, adicional a esto se tiene en el entorno acciones, un ambiente y con las estrategias también se tienen diferentes resultados, donde implícitamente se identifican ciertos equilibrios, ahora específicamente en las finanzas se hablarían de equilibrios del mercado, los cuales se darán a partir del equilibrio de Nash o del óptimo de Pareto. (Melo de Sousa Paulo Benício, 2013).

Orientado desde la física cuántica los estados pueden ser múltiples, a su vez puede estar entrelazados es decir realizar una combinación entre las estrategias y los beneficios de los actores, siempre a partir de unas condiciones a cumplir, (Melo de Sousa Paulo Benício, 2013).

#### *4.1.10.3 Quantum Modelo Armónico Espacial Periódico de los Mercados de Valores en Precios con Limites Diarios.*

Este modelo parte de las siguientes premisas dadas desde la física cuántica: un cuanto en este caso se observa a la población, el oscilador armónico sería la información externa y finalmente la partícula Browniano sería el índice de la bolsa, este modelo busca explicar los fenómenos del mercado bursátil y a su vez identificar las características no markovianos a largo plazo (Meng Xianggyi, 2014).

“El modelo inicial surgió de la disipación y oscilación del precio de la acción como un oscilador armónico amortiguado que se ve afectado por la información que influye en el mercado de valores”, sin embargo deja de explicar una escala de fluctuación existente del precio de las acciones, por ello se modificó a un oscilador armónico cuántico, donde su energía se representa por la ecuación:

$$E = (n + \frac{1}{2}) \hbar \omega,$$

la cual sería el número de operaciones, diferente a cero, a este modelo se le suman teorías como los campos cuánticos, donde son básicamente la limitación establecida a partir de condiciones específicas del mercado, un ejemplo es la variación del mercado chino donde la tasa de retorno en un día de negociación no puede ser inferior o superior al 10% con respecto al cierre del día anterior, estos datos son requeridos para estudiar el comportamiento de las acciones y sus características no lineales pertinentes que influyen en la volatilidad del mercado. Así mismo, el modelo busca establecer la volatilidad en un mercado con limitaciones de precios como lo es el mercado chino en la Bolsa de Shanghai. (Meng Xiangyi, 2014).

#### *4.1.10.4 Modelo de Oscilador no Clásico Para las Fluctuaciones Persistentes en los Mercados de Valores*

El modelo de oscilador amortiguación clásico de Frisch sugiere trabajar con un oscilador no clásico basado en la mecánica cuántica, en un intento de explicar tales fluctuaciones en los mercados de valores. Esto se basa en el supuesto de que el valor podría ser un paquete de ondas que decide la probabilidad de cada precio ya que la misma acción tiene un rango de precios en lugar de un precio fijo en diferentes momentos. En este caso, el mercado se trata como un aparato que puede medir el valor y producir un precio como resultado. Paralelamente el modelo tiene como objetivo explicar cualitativamente fluctuaciones persistentes en los mercados de valores. (Meng Xiangyi, 2014).

#### *4.1.10.5 Un Modelo Cuántico para el Mercado de Valores*

Este modelo cuántico fue creado por Chao Zhang y Lu Huang para la Escuela de Física e Ingeniería en la Universidad de Suna Yat-Sen en Cantón-China y por la Universidad de Chongqing ubicada en el mismo lugar de su nombre Chongqing. Chao Zhang actual director de la sociedad australiana de física, miembro del consejo de infrarrojos y Terahertz Sociedad Wave, por su lado Lu Huang PhD de la Universidad China de Hong Kong con énfasis en campos sobre materia blanda y econofísica, es actual miembro del Centro Interdisciplinario de Información y Control Cuántico en China. El objetivo del modelo es hallar el precio de la acción en un tiempo  $T$ , identificando a su vez volatilidad a partir del supuesto que no existe el equilibrio del mercado,



para ello se cuantifican variables externas donde implícitamente se podrá evaluar el precio del valor promedio de la tasa de rendimiento a través de la función de onda.

Diferentes modelos basados en las ciencias, hacen que el mercado bursátil sea cada vez más asequible a otras profesiones, esto lo ratifica la descripción de perfiles de los creadores de este modelo. Físicos y matemáticos que tienen un interés continuo por crear metodologías basado en teorías y ecuaciones que permitan optimizar sus utilidades y con ello minimizar el riesgo de inversión.

#### 4.1.11 Elección del Modelo de Física Cuántica Adecuado al Índice DXY y sus Componentes.

El modelo seleccionado es el de Chao Zhang y Lu Huang, de nombre “Un Modelo Cuántico para el Mercado de Valores”, la elección es la simplicidad de sus expresiones, el cumplimiento de las premisas utilizadas para el mercado accionario vs el mercado de divisas y la cercanía con las teorías de la física cuántica. Para ello se hace importante conocer el mercado al cual será aplicado el modelo teniendo como base el índice USDX o DXY y el índice NASDAQ. Así mismo y en igual grado de importancia se debe conocer al detalle los supuestos que se proponen, las teorías y fórmulas físicas que se plantean así como las fórmulas matemáticas y estadísticas que componen el modelo planteado por Chao Zhang y Lu Huang. Lo anterior permite identificar la pertinencia de los supuestos que se manejarán y los cuales permitirán llegar a resultados más eficientes y eficaces que accedan a generar resultados y con ello conclusiones y recomendaciones.

##### *4.1.11.1 Supuestos del Modelo de Chao Zhang y Lu Huang*

El precio de las acciones fluctúa en el mercado presentando en su dinámica la propiedad de onda.

1. La onda - partícula, representada por las acciones tiene un dualismo.
2. El precio de las acciones son un grupo de ondas, las cuales identifican una distribución, donde a partir de la física cuántica se establece una superposición de sus diversos estados posibles con diferentes precios.

3. Se tendrán un espacio Hilbert considerado un “Espacio vectorial infinitamente grande, donde David Hilbert postuló que este espacio fuese compuesto por número imaginarios y complejos permitiendo así entre sus objetivos medir distancias más completas y confiables debido a su espacio métrico”. (M.C. Bosca, s.f.)
4. La energía se entenderá como el volumen del precio o como la intensidad del movimiento del precio,
5. El principio de Incertidumbre está dado por una dualidad entre la posición y el impulso, siendo estas dos variables estudiadas de forma independiente pero a su vez con una correlación. Adicionalmente se ve reflejado en la tendencia de los precios.
6. Quien definirá la evolución de la onda es decir la evolución del precio; será la ecuación de Schrödinger,

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(\wp, t) = \hat{H}\psi(\wp, t)$$

#### *Ecuación 6 Espacio Hamiltoniano*

$$\hat{H} = \hat{H}(\wp, T, t)$$

El campo Hamiltoniano tiene en su función el precio, tendencia y tiempo. Para este espacio se debe cuantificar información del mercado, psicología del inversionista y entorno económico, entre otras variables que afectan la fluctuación del precio. La cuantificación de dichas variables está dada por funciones como la del coseno.

$$\cos \omega t$$

Indicando así la fluctuación a partir de ciclos y/o tiempos de análisis, en el caso de este modelo se fluctúa a partir de cada 4 días, por eso su ecuación es representada por

$$\omega = 10^{-4} s^{-1} . \text{ (M.C. Bosca, s.f.)}$$

A partir de la cuantificación se identifica la energía potencial de los valores. La ecuación del Coseno se fundamenta en que los precios del mercado nunca parten de ceros, de lo contrario se aplicaría en el modelo la función Seno

Para el desarrollo del modelo se debe identificar la amplitud del campo Hamiltoniano.

$$\hat{H} = - \frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial r^2} + eFr \cos \omega t.$$

Contemplando la energía cinética de los valores, identifica características del mercado accionario y el segundo término es la energía potencial reflejada. También se manejan premisas como el desequilibrio del mercado, es decir que no es un mercado eficiente. (Zhang Chao).

Adicional a lo anterior se debe utilizar una Ecuación Diferencial, permitiendo así calcular la evolución de la distribución del precio de las acciones en el tiempo.

## 4.2 Marco Conceptual

Para continuar con la lectura de esta investigación se hace importante conocer y entender conceptos que generan un impacto en la implementación e identificación de las analogías, estos son conceptos que son aplicados a la física y que pueden ser componentes en las finanzas, para ello se tienen:

- Física Cuántica: Rama de la física que estudia el comportamiento de la materia cuando las dimensiones de ésta son muy pequeñas, en torno a 100 átomos.
- Finanzas cuánticas: La aplicación en finanzas a partir de las ecuaciones y teorías de física cuántica.
- Átomo: materia del universo que constituye a los cuerpos, aplicado al mercado financiero se entenderá como las divisas al cual se direcciona como un todo en el análisis, siendo este el poseedor de energía.
- Núcleo: Centro del átomo para el caso de estudio es el pindice DXY
- Quarks: Paquetes de energía, también conocidos como cuantos de planck, para este proyecto se entenderán como las paridades que conforman el índice DXY, siendo así identificada como las partículas más pequeñas del átomo.

- Onda \_ partícula: Se identifica a los dos comportamientos que presentan en la física cuántica siendo ondulatorio y corpuscular, donde siempre predomina uno de ellos, orientado a la investigación se reflejara en la conjugación de variables externas que afectan el precio y la fluctuación del mercado pero donde impactan más a la potencial energía.
- Índice USDX: Es una medida para valorar el dólar norteamericano a partir de un grupo de monedas extranjeras.
- Paridad Monetaria: Relación de valor entre dos monedas.
- Correlación: Relación o dependencia de dos variables.

### **4.3 Marco Espacial**

Se establece que el átomo en finanzas es el índice DXY. A partir de ellos se indican las monedas que lo componen como el espacio donde será analizado el modelo (EUR, JPY, GBP, CAD, SEK Y SHF), los datos se generan a partir de las plataformas de negociación y de información Metatrader 4.0 y Bloomberg respectivamente.

### **4.4 Marco Temporal - Espacial**

El marco de tiempo se estableció para la generación de la información desde el 23 de julio de 2009 en marco de tiempo día, esto para la identificación de los parámetros.

## **5. Hipótesis**

### **5.1 Hipótesis de Primer Grado**

Una correcta identificación de las analogías provenientes de la física cuántica direccionada al mercado de renta variable, permite la estimación de parámetros llevados a la ecuación de Schrödinger para calcular la probabilidad de la volatilidad de los retornos en el índice DXY.

### **5.2 Hipótesis de Segundo Grado**

La Física Cuántica aplicada a las finanzas demuestra que las ecuaciones son fórmulas precisas que permiten analizar y ejecutar operaciones, los cuales se basan en identificar movimientos no aleatorios que admiten generar predicciones para su posterior comprobación y ejecución.



## **6. Aspectos Metodológicos**

### **6.1 Método de Investigación**

El método de investigación para ser trabajado en esta investigación es el Inductivo, esto a partir de características como la aplicación a nivel profesional (ingeniería), la relación entre leyes universales y su demostración en casos particulares, donde al direccionarlo al sujeto de estudio se afirma que la ley es universal, logrando acceder a la aplicación de teorías físicas cuánticas en las finanzas y la particularidad de analizar la viabilidad de dichas teorías y fórmulas al estudio en el mercado bursátil, específicamente en el mercado de divisas. Finalmente, la forma de medición está basada en fórmulas matemáticas, físicas y/o estadísticas, también aplicable a la sustentación de esta investigación.

Sin embargo, es importante aclarar que dentro del proceso de investigación se genera una argumentación donde pueden ser partícipes otras metodologías, sin que esta sea base en la investigación, ejemplo es la metodología analítica y de síntesis.

La investigación a aplicar es mixta con un mayor componente cuantitativo pero al haber análisis de datos, impactos esperados y descripción de elementos también se tiene incorporado el factor cualitativo.

## **6.2 Fuentes y Técnicas de Recolección de la Información**

Siendo las fuentes de información los parametros del modelo de Chao Shang y Lu Huang a partir del cual se desarrollará la investigación, se identificará de carácter secundario libros de física clásica y cuántica así como de matemáticas específicamente en integrales y/o ecuaciones diferenciales, libros de finanzas cuánticas encontrados en la colección de libros electrónicos ebrary, e-libro, entre otros, artículos e investigaciones descargados de internet así como revistas especializadas y enciclopedias a las que se diere lugar en la investigación y que lleguen a ser ubicadas en otros puntos de información.

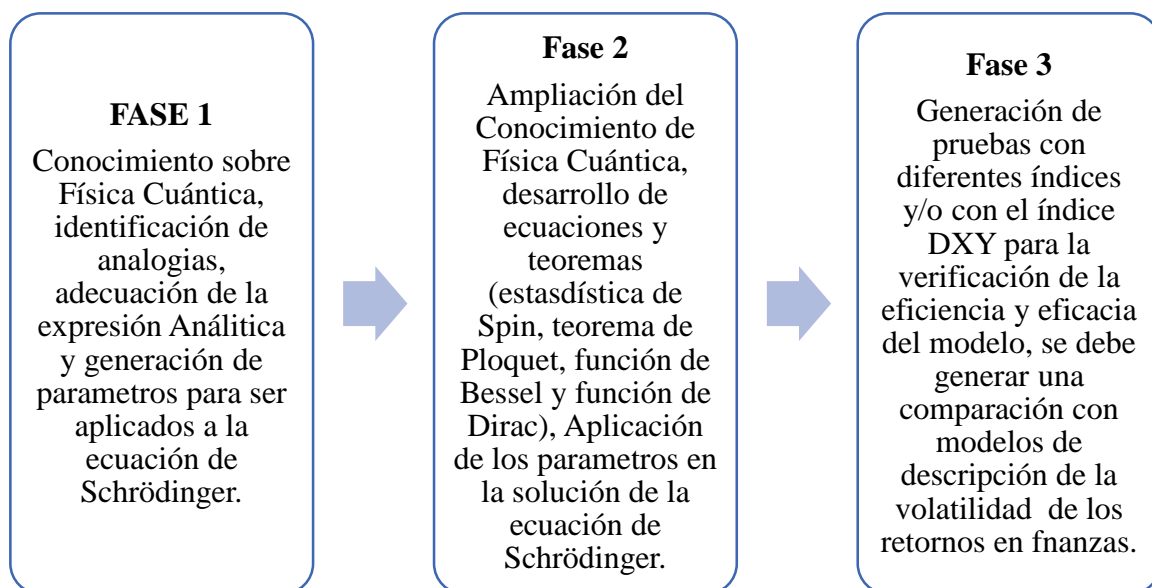
Así mismo, las fuentes primarias están dadas por los sistemas Bloomberg y Metatrader 4.0 de donde se genera la información de volumen, transacciones, precios, gráficos y todo lo requerido para la aplicación del modelo.

## **6.3 Fases de la Investigación**

Esta investigación se desarrolla en tres fases dado la complejidad de las ecuaciones permitiendo así que cada fase tenga unos objetivos limitados y con un alcance real, lo cual llevara a generar como resultados final la generación del desarrollo numérico y la comprobación en otros índices y/o mercado de alta volatilidad que tengan como base de información el volumen.

### Ilustración 7

#### Fases de la Investigación



Fuente: Creación Propia

#### 6.4 Importancia de la Identificación de la Volatilidad de los Retornos para los Inversionistas.

Los inversionistas continuamente están en la búsqueda de minimizar la incertidumbre de sus inversiones y con ello los riesgos que puedan presentar ante los cambios externos de difícil control, atendiendo a ese requerimiento se establecen la importancia de identificar la probabilidad de la volatilidad de los retornos, entre ellos:

- Administración eficiente del riesgo asociada a las fluctuaciones de variables que impactan la decisión en la inversión.

- Creación y optimización de portafolios eficientes.
- Entender la dinámica entre los retornos de la rentabilidad de los inversionistas y algunos de los factores externos que puedan impactar en la volatilidad de los retornos.
- Disminuir la incertidumbre, haciendo que los inversionistas identifiquen modelos confiables desde otras disciplinas.
- Análisis fundamental del mercado a partir de la probabilidad de una alta o baja volatilidad de los retornos. (Gallón Gómez & Gómez Portilla, 2007)

### **6.5 Identificación de la Aplicación e Identificación de Analogías del Modelo de Chao Shang y Lu Huang en el Mercado Accionario Chino.**

La creación del modelo fue originada debido a la necesidad de identificar las volatilidades de los retornos en el mercado accionario Chino, dado las características de restricciones que caracterizan las transacciones, las cuales controlan las altas volatilidades que tiene como consecuencia disminuir los temores de los inversionistas, evitando así una desaceleración del mercado que puede tener un impacto a nivel global dado que China es la segunda economía más importante del mundo, entre los impactos de la devaluación de índices como el Hang Seng <sup>4</sup>, así mismo se convierte en un indicador que refleja cómo está el crecimiento del país y/o su desempeño económico.

Sumado a lo anterior el control de la volatilidad de las acciones no solo lo aplica China, sino países como Estados Unidos, ejemplo de ello son los “interruptores de circuitos” lo anterior se orienta a detener las operaciones cuando las caídas del precio superan un porcentaje

---

<sup>4</sup> Principal índice bursátil chino de Hong Kong, entre sus componentes se encuentran las 33 compañías más grandes de Hong Kong.

determinado, en el caso del S&P se observan tres interruptores de circuito, el primero si el precio de la acción disminuye 7%, se suspenderá 15 minutos las transacciones a los inversionistas, si baja al 13% el mercado congela sus operaciones por 30 minutos, si en el transcurso de las operaciones el mercado cae en un 20% , se suspende las operaciones con el índice de divisas indicando la paridad (BBC Mundo, 2016).

## **6.6 Desarrollo Fase I de la Investigación.**

### **6.6.1 Generación de la Información en Plataforma Bloomberg.**

Para dar inicio a la aplicación del modelo se dará a conocer el proceso realizado para la generación de la información desde la plataforma Bloomberg <sup>(5)</sup>, permitiendo así identificar los parámetros con los que se descargó la información y con ello dar inicio al desarrollo del modelo. De igual modo se aclara que la información generada está orientada a divisas bajo el índice USDX el cual se identifica en la plataforma Bloomberg como el índice DXY, para determinar la paridad que se incluirá en el modelo se dará lugar a que esta sea identificada a través de la mayor correlación presentada, las monedas que componen al índice son:

- Euro (EUR), 57.6%
- Yen japonés (JPY), 13.6%
- Libra esterlina (GBP), 11.9%

---

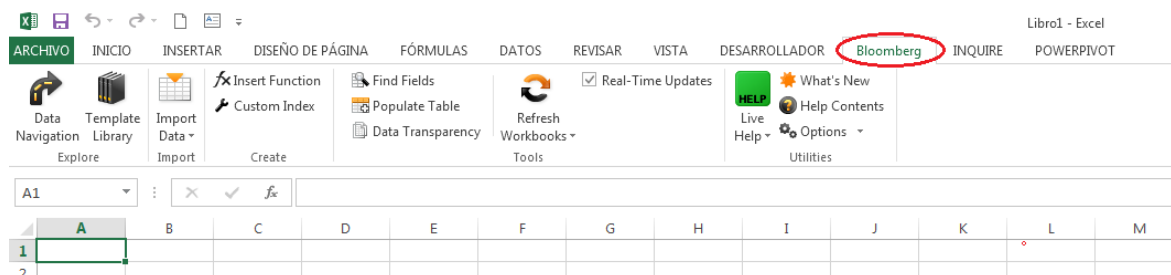
<sup>5</sup> Bloomberg; Empresa fundada en el año de 1981, esta empresa se dedica a la generación de información a los profesionales en finanzas, permite leer y conocer datos en el menor tiempo posible, sumado a ello da a conocer noticias, comunicación y en general todo tipo de información con base en herramientas analíticas en mercados como acciones, divisas, derivados, es decir desde renta fija hasta renta variable. otorgando a su vez una plataforma de ejecución para los movimientos de los instrumentos financieros.

- Dólar canadiense (CAD), 9.1%
- Corona Sueca (SEK), 4.2%
- Franco suizo (CHF) 3.6%

Bloomberg permite interactuar con la información de la plataforma llevada a excel, para ello se debe ubicar el puntero del mouse en la celda y hoja donde se requiere sean importados los datos, posteriormente se debe ir a la link de Bloomberg como se muestra en la ilustración y a continuación dar sobre ella clic.

### *Ilustración 8*

#### *Importación de Datos*

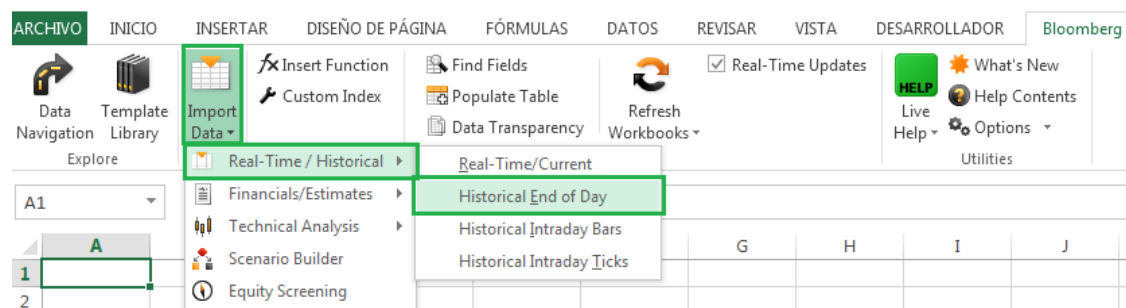


Fuente: Creación Propia

Una vez se dé clic en el link de Bloomberg se desplegará la siguiente información, la cual debe seleccionarse según los recuadros en verdes (Import\_Data – Real Time / Historical – Historical End of Day).

## Ilustración 9

### Paso Importación de Datos

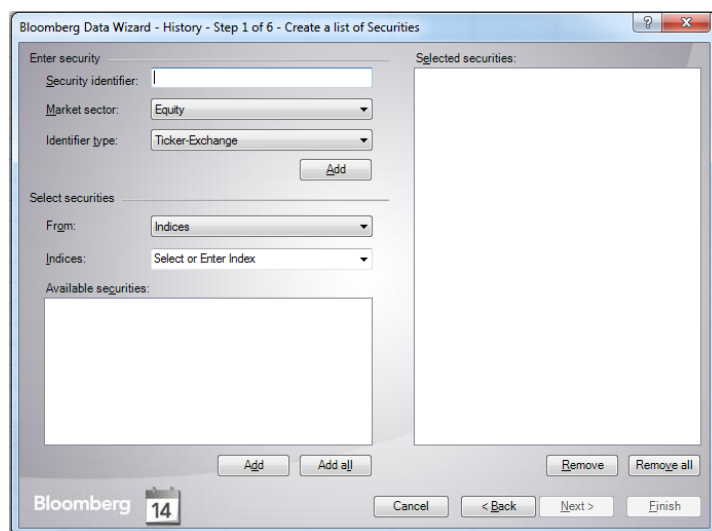


Fuente: Creación Propia

Una vez realizado el proceso anterior se visualiza la siguiente pantalla.

## Ilustración 10

### Bloomberg Data Wizard, Historical

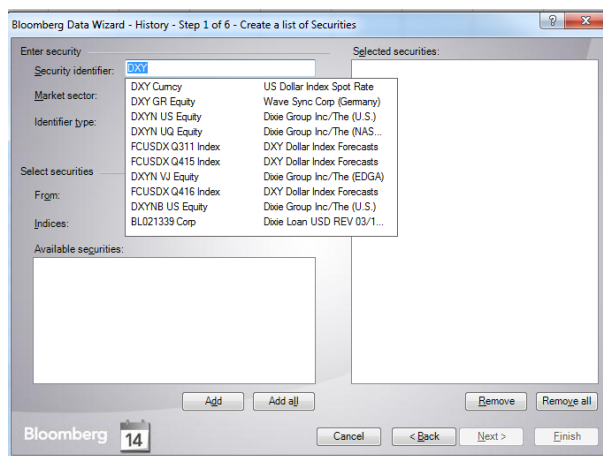


Fuente: Creación Propia

Para continuar se debe escribir en el espacio Security Identifier, el ticket con el que se identifica en la plataforma el índice y/o el componente del cual se requiere la información, para el ejemplo DXY, índice en el que se basa la investigación.

### *Ilustración 11*

#### *Importe de la Información, Selección Índice.*



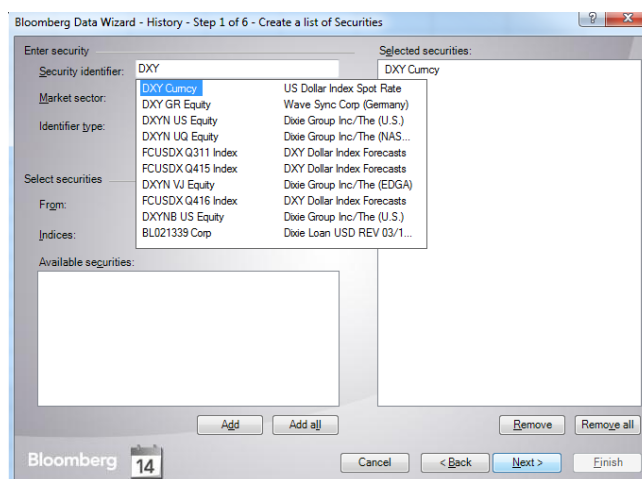
Fuente: Creación Propia

Posteriormente se debe identificar la información requerida, para el caso de estudio se selecciona como información DXY Currency que se visualizada en esta misma pantalla (sector derecho de fondo blanco - selected securities) tal y como se muestra a continuación.



### Ilustración 12

#### Confirmación del Primer Dato de Importación

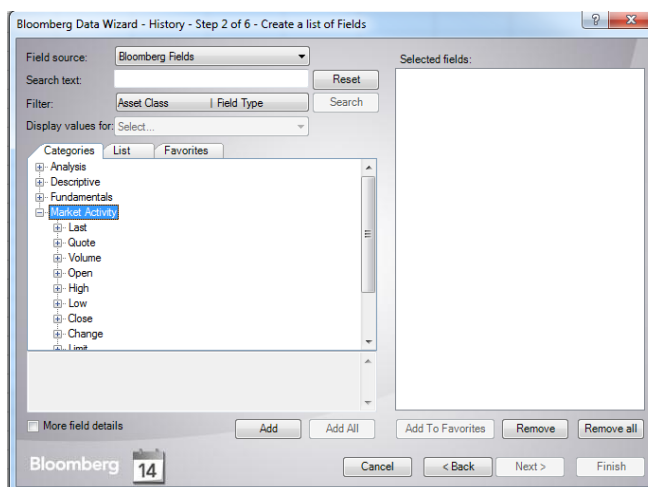


Fuente: Creación Propia

Nuevamente se desplegara una pantalla, la cual permite identificar la información detallada que se requiere descargar para la investigación, para nuestro caso de estudio la información a descargar se obtiene de Market Activity, esta acción permite observar el Last Price, Open Price, High Price y Low Price. Esto se refleja en las dos pantallas posteriores.

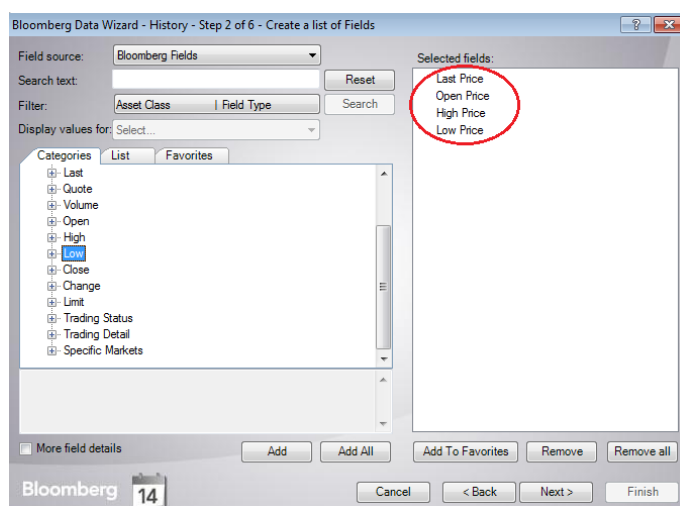
### Ilustración 13

#### Selección Actividad del Mercado



Fuente. Creación Propia

*Ilustración 14*  
*Selected Fields*



Fuente: Creación Propia

Una vez se identifique el Ticket y con ello la información detallada que debe ser descargada como archivo, se realizara la selección de fechas, una inicial y una final para ello Bloomberg permite en la fecha final seleccionar por día, mes y año o indicar mediante un check list denominado Current el cual traerá el dato más actual.

*Ilustración 15**Selección Fecha Inicial Y Fecha Final de la Base de Datos.*

Bloomberg Data Wizard - History - Step 3 of 6 - Select Periodicity and Time Frame

Periodicity

Calendar type: Calendar Periodicity: Daily

Date Format: Date Calendar Code: Calendar Default

Time frame

☒ Fixed time series

☒ Date From: 13/01/2010 To: 10/11/2015 ☒ Current

☐ Period From: CQ4 2014 To: CQ4 2015 ☐ Current

☐ Relative time series

End date: ☒ Today ☐ Date: 31/01/2007

☐ Last Reported Period ☐ Period: CQ4 2015

Number of periods: 1 Days

Bloomberg 14

Cancel < Back Next > Finish

Fuente: Creación Propia

Las pantallas continuas deben tener los check list seleccionados tal como se indica en las imágenes.

## Ilustración 16

### Pantalla Check List

Bloomberg Data Wizard - History - Step 4 of 6 - Set History Parameters

Currency  
Security default

Non-trading days  
☒ Exclude  
☐ Include all non trading weekdays  
☐ Include all calendar days (Required for the "Only for first security" check box on the "Layout Options" page (step 6).)  
 Filler value for non-trading intervals: ☒ Carry over last value ☐ #N/A N/A ☐ Blank ☐ Use next value  
☐ #N/A ☐ Custom:

Scaling Factor  
 Enter a value to scale the Historical Time Series

Quote (yield quoted securities only) Points  
☒ Yield ☐ Price ☐ Specify maximum # of points  
 Data points:

Quote Calculation  
☒ Closing quote  
☐ Quote GPA

Bloomberg 14 Cancel < Back Next > Finish

Bloomberg Data Wizard - History - Step 5 of 6 - Set Pricing Defaults

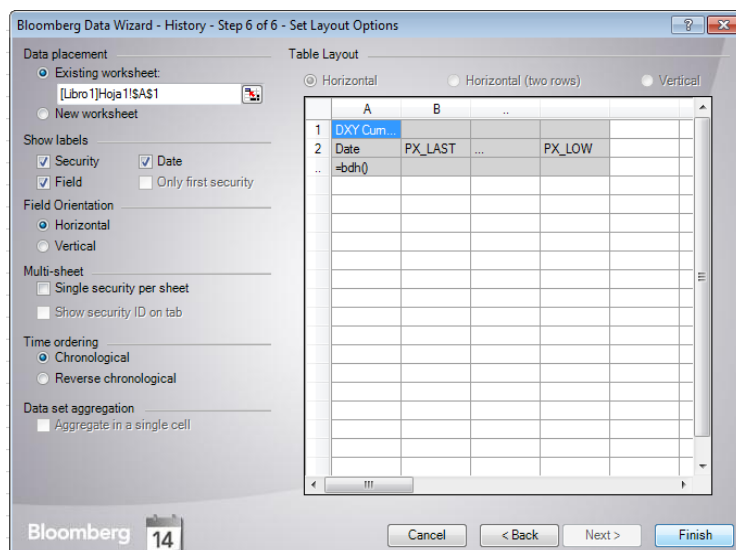
Follow DPDF Settings  
☒ Yes  
☐ No

Cash Adjustment Normal  
☐ Yes Adjust historical pricing to reflect: Regular Cash, Interim, 1st Interim, 2nd Interim, 3rd Interim, 4th Interim, 5th Interim, Income, Estimated, Partnership Distribution, Final, Interest on Capital, Distribution, Prorated.  
☒ No

Cash Adjustment Abnormal  
☐ Yes Adjust historical pricing to reflect: Special Cash, Liquidation, Capital Gains, Long-Term Capital Gains, Short-Term Capital Gains, Memorial, Return of Capital, Rights Redemption, Miscellaneous, Return Premium, Preferred Rights Redemption, Proceeds/Rights, Proceeds/Shares, Proceeds/Warrants.  
☒ No

Capital Changes  
☐ Yes Adjust historical pricing and/or volume to reflect: Spin-Offs, Stock Splits/Consolidations, Stocks Dividend/Bonus, Rights Offerings/Entitlement.  
☒ No

Bloomberg 14 Cancel < Back Next > Finish

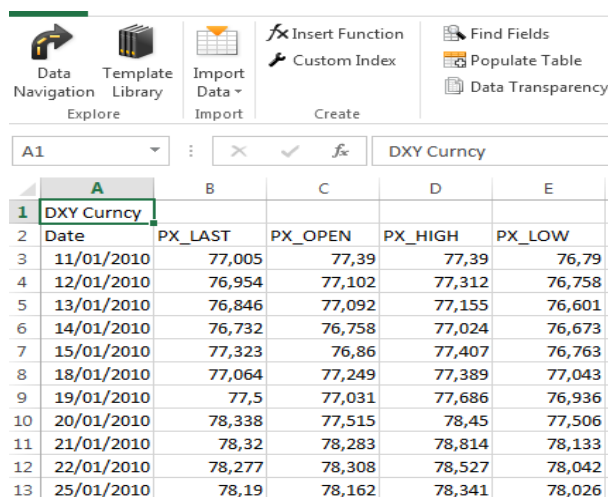


Fuente: Creación Propia

Finalmente la información se descarga a partir de la celda seleccionada y hoja seleccionada en Excel. Se recomienda copiar los datos como valores, de no hacerlos y en caso de no estar conectado a la plataforma los datos no serán visibles.

### Ilustración 17

#### Información Importada a Excel



	A	B	C	D	E
1	DXY Curncy				
2	Date	PX_LAST	PX_OPEN	PX_HIGH	PX_LOW
3	11/01/2010	77,005	77,39	77,39	76,79
4	12/01/2010	76,954	77,102	77,312	76,758
5	13/01/2010	76,846	77,092	77,155	76,601
6	14/01/2010	76,732	76,758	77,024	76,673
7	15/01/2010	77,323	76,86	77,407	76,763
8	18/01/2010	77,064	77,249	77,389	77,043
9	19/01/2010	77,5	77,031	77,686	76,936
10	20/01/2010	78,338	77,515	78,45	77,506
11	21/01/2010	78,32	78,283	78,814	78,133
12	22/01/2010	78,277	78,308	78,527	78,042
13	25/01/2010	78,19	78,162	78,341	78,026

Fuente: Creación Propia

#### 6.6.2 Análisis y Presentación de las Analogías el Modelo Aplicado al Índice DXY y las Monedas que lo Componen.

El modelo tiene como base la ecuación de Schrödinger, la cual permite determinar la distribución del precio de las acciones en el tiempo a partir de la premisa que dicha ecuación es la fórmula de la evolución en física cuántica. A nivel general, está ecuación se caracteriza por ser diferencial parcial, ésta permite conectar las variables independientes y permite identificar las ecuaciones de tipo Hiperbólico que representan fenómenos oscilatorios, de tipo Parabólico las cuales apoyan estudios de conductibilidad térmica y difusión y de tipo Elíptico con base en procesos estacionarios.

Para incorporar al lector en el análisis de la fórmula, visto desde las finanzas se describirá en primera instancia la ecuación de Schrödinger de forma general y posteriormente se analizará por partes cada uno de sus componentes y/o operadores.

### Ecuación de Schrödinger

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\varphi, t) = \hat{H} \Psi(\varphi, t)$$

Los componentes de la ecuación son:

- i      Unidad Imaginaria.
- $\hbar$       Constante de Planck normalizada ( $\hbar/2\pi$ ),  $\frac{\partial}{\partial t}$  Derivada parcial con respecto al tiempo.
- $\Psi$       Valor a encontrar en la ecuación de Schrödinger (representa la función de onda).
- $\Psi$       Precio de la acción en el momento t.
- T      Tendencia.
- $\hat{H}$       Hamiltoniano.

Se identifica a partir de la unidad imaginaria un principio de incertidumbre la cual en finanzas y como se explicó en los postulados de economía tiene una existencia, así mismo a la función de onda se le atribuye una relación cuantitativa a partir de variables dinámicas. Ahora es importante observar que la dependencia de esta ecuación se identifica en la función de onda (Miguel & Miguel, 2004), lo anterior llevado a las finanzas y a la economía se representa en los precios de las acciones o de las divisas la cuales cambian de forma constante.

La constante de Planck está representada por  $6.062606957 (29) \times 10^{-34}$  y la constante de Planck normalizada o reducida  $1.054571726 (47) \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ , esta última se usa matemáticamente para simplificar la ecuación. Seguido a la constante de Planck se encuentra en la ecuación la función de onda, la cual permite identificar todas las probabilidades de resultados en un sistema, donde el estado propio está relacionado a la energía de la partícula en dicho estado. En este punto se enfatizará en el concepto de energía desde la física cuántica y el postulado de este mismo concepto llevado a las finanzas.

¿Pero qué se conoce como energía en física cuántica?, Max Planck la determina como una magnitud con naturaleza no continua sino discreta la cual tiene una unidad mínima (Gobierno de Canarias, 2016), para ello el físico afirma que la energía se da por pequeños bloques a los que llamo cuantos de energía, esto a partir de la investigación previa que realizó sobre la producción de radiación desde un cuerpo incandescente.

Un ejemplo claro de ello es el termómetro donde de  $20^{\circ}$  pasa a  $21^{\circ}$ , alguien podría preguntarse, ¿qué pasa si se da calor, pero está no es suficiente para que llegue a  $21^{\circ}$  pero es mínima para que aumente de  $20^{\circ}$ ? Planck postulaba que se recogía esa calor en bloques y posteriormente cuando llegara a los diferentes múltiplos que aparecen en el termómetro se reflejaban, es decir que existía un salto cuántico. Para concluir la cuantificación de la energía total  $E$  entre  $V(x)$ , es tal que una partícula clásica está confinada (ligada), los niveles de energía permitidos (Jaimes, 2004), Orientado a las finanzas y específicamente al mercado de divisas se podría pensar en una analogía donde la plataforma refleja un cambio de precios a partir de variables como el volumen de oferentes y demandantes lo cual sería lo denominado energía.



Quienes proporcionan esta energía serían los diferentes participantes del mercado representados por bancos, multinacionales, instituciones financieras no bancarias, bancos centrales, entre otros actores de mercado.

A lo anterior se suma las limitantes del modelo que están dadas en la delimitación del campo hamiltoniano para lo cual el tiempo  $t$  (el espacio de tiempo en el que se genera la data del precio de la acción) se ha definido en un marco de tiempo día, la elección del tiempo está basada con el objetivo de disminuir la cantidad de información la cual permite una fácil manipulación.

Finalmente la tendencia en divisas es la dirección en la que está el mercado en un periodo determinado, sin embargo no se puede ignorar que la tendencia también puede ser proyectada a partir de análisis técnico así como de otros modelos llevados al mercado que permiten a los inversionistas tener una decisión más clara, disminuir la incertidumbre y finalmente calcular, mitigar y transferir el riesgo financiero.

#### 6.6.2.1 Campo Hamiltoniano $\hat{H}$ .

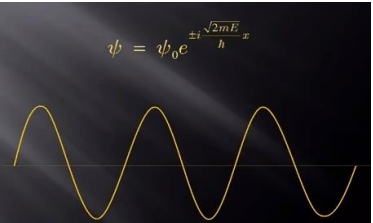
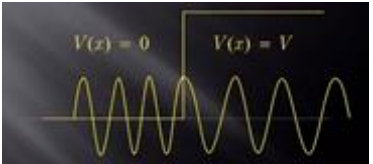
El campo hamiltoniano está dado básicamente por la función de precio, tendencia y tiempo  $\hat{H} = \hat{H}(\varphi, T, t)$ , donde a partir del conocimiento del estado inicial del precio se puede obtener la distribución de los precios en el futuro. Es importante anotar que el campo Hamiltoniano podría ser visto conceptualmente como un operador matemático, sin embargo en la física cuántica los operadores son llamados funciones. Así mismo, el operador Hamiltoniano tiene inmerso en su fórmula la energía cinética y la potencial, en analogía con la física clásica se tendría  $E_c = \pi^2/2m$ , donde  $\pi$  sería el momento cinético llevado a la física cuántica se tendría

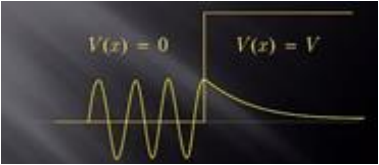
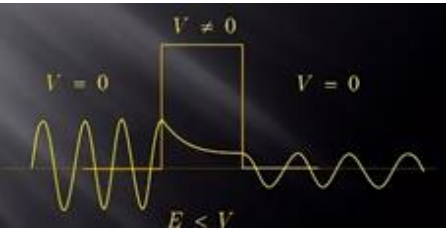
$1/2 m$  multiplicado por  $p^2$ , en este punto, el cuadrado permite que el operador actúe sobre el resultado para hacer actuar dicho operador sobre una función (Miguel & Miguel, 2004).


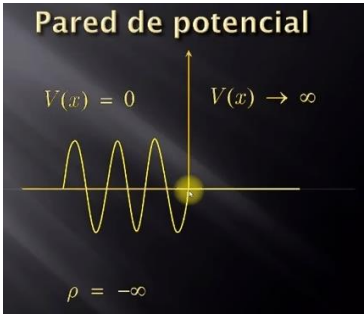
Para contextualizar, la energía cinética es la cuantificación del trabajo que realizó un cuerpo estando en movimiento, esta se encuentra directamente relacionada a su velocidad, y la energía potencial es la energía que tienen los cuerpos pero relacionada directamente con su peso (Universidad de Salamanca, 2010). Una vez identificados los componentes del campo Hamiltoniano se procede a identificar la construcción del mismo, en primera instancia se establecerá el pozo esto a partir de la energía asociada y las interacciones que se tienen de las variables externas que afectan específicamente al índice DXY y las monedas que lo componen.

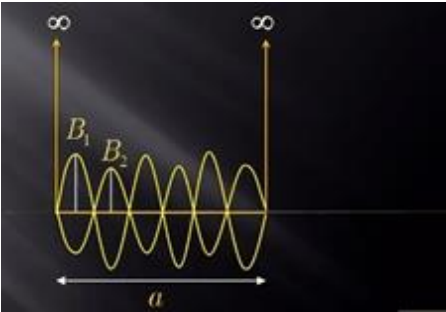
Tabla 4

Casos Clásicos de Tipo de Potencial en Física Cuántica.

Tipo de Pozo Potencial	Fórmula	Campo Hamiltoniano y Solución de Onda	Características
<b>Potencial Nulo</b>  	$V(\mathbf{r}) = 0$	$H \equiv -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2$ $\Psi = \Psi_0 e^{\pm i \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar} x}$	<p>El campo Hamiltoniano se aplica a la función de onda <math>\psi</math> positiva y negativa, indicando que se tiene una onda directa y una onda reflejada y al no tener potencial se tiene una onda simple con posibilidad de reflejarse pero al ser unidimensional se omite.</p>
<b>Escalón de Potencial <math>E &gt; V</math></b>  Energía mayor que el potencial  	$V(\mathbf{x}) = 0$  $V(\mathbf{x}) = V$	$\Psi = \Psi_0 \exp\left(i \frac{\sqrt{2m(E - V)}}{\hbar} x\right)$	<p>En una cierta región del espacio el potencial es cero, pero en otra región adquiere un valor constante diferente de cero igual a <math>V</math>.</p> <p>En este caso, la frecuencia de la función de onda es más pequeña, es decir una pérdida de energía.</p>

<p><b>Escalón de Potencial <math>E &lt; V</math></b></p> <p>Energía menor que el potencial.</p> 	$V(x) = 0$  $V(x) = V$	$\Psi$  $= \Psi_0 \exp\left(-\frac{\sqrt{2m( E - V )}}{\hbar} x\right)$	<p>En una cierta región del espacio el potencial es cero, pero en otra región adquiere un valor constante diferente de cero igual a V.</p> <p>Gráficamente la onda está pasando la barrera (línea horizontal), cabe anotar que en física clásica si algo golpea una barrera simplemente no pasa, diferente en física cuántica donde sí se permite e incluye en la solución el valor imaginario, esto también se detecta en la función de onda donde al ser mayor el potencial V que la energía E se tendrá como resultado una raíz negativa. Es decir, una unidad imaginaria <math>i</math> que posteriormente se neutralizará y dará como resultado no una onda sino una curva exponencial decreciente.</p>
<p><b>Barrera de Potencial</b></p> 	$V(x) = 0$  $V(x) \neq 0$  $V(x) = 0$	<p><b>Potencial Nulo</b></p> $\Psi = \Psi_0 e^{\pm i \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar} x}$ <p><b>Potencial no Nulo</b></p> $\Psi = \Psi_0 \exp\left(-\frac{\sqrt{2m( E - V )}}{\hbar} x\right)$	<p>La barrera de potencial tiene tres zonas, una donde el potencial no es nulo <math>V \neq 0</math> y dos donde el potencial es nulo, es decir <math>V = 0</math>.</p> <p>Por lo anterior, la onda en los costados es senoidal y exponencial decreciente en su zona central donde la energía es inferior al potencial <math>E &lt; V</math>. La onda en la zona derecha tiene menos frecuencia.</p>

<p><b>Pozo de Potencial</b></p> 	$V(x) \neq 0$  $V(x) = 0$  $V(x) \neq 0$	$\Psi = \Psi_0 e^{px}$  $\Psi = \Psi_0 e^{ikx}$  $\Psi = \Psi_0 e^{-px}$	<p>El pozo de potencial a diferencia de la barrera de potencial tiene dos zonas una donde el potencial no es nulo y una siendo está la central que si lo es.</p> <p>Se refleja así a los costados dos colas exponenciales y una zona en la que el potencial es cero con una onda dentro.</p> <p>Al analizar la zona el potencial no es nulo, está tiene una propagación positiva y negativa sobre el eje x.</p>
<p><b>Pared de Potencial</b></p> 	$V(x) = 0$  $V(x) = \infty$	$\Psi = \Psi_0 e^{-\infty}$	<p>En la pared de potencial, este último es infinito, al ser infinito y sustituir esta constante en la siguiente ecuación</p> $p = -\frac{\sqrt{2m( E - V )}}{\hbar}$ <p>Sustituyendo V</p> $p = -\frac{\sqrt{2m( E - \infty )}}{\hbar}$ <p>Se tiene</p> $p = -\infty$ <p>El ser infinito corta la continuidad de la onda haciéndose cero.</p>

<p><b>Pozo con Paredes</b></p> 	$V(x) = \infty$  $V(x) = 0$	$\Psi = B_1 e^{ikx} + B_2 e^{-ikx}$  $\Psi(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin\left(\frac{n\pi x}{a}\right)$	<p>En este pozo se tiene onda reflejada, donde al haber una pared que no permite que la onda pase, la onda se devuelve, en la gráfica a es el ancho del pozo, B1 es la onda directa y B2 es la onda reflejada.</p> <p>Este caso representa una onda estacionaria.</p>
--	-----------------------------------	---	---

Fuente: Creación Propia a partir de información de Fuente: [https://www.youtube.com/watch?v=J\\_LhJPKc9xg](https://www.youtube.com/watch?v=J_LhJPKc9xg)

Los pozos de potencial anteriormente vistos llevados a las finanzas permitirían identificar la probabilidad de la volatilidad de los retornos, para ello se establecerá como lo indica el documento base de esta investigación que se tiene un pozo de potencial cuadrado unidimensional, esto permite identificar que la fluctuación de los precios pueden tener una tendencia alcista y bajista, es importante identificar lo que se llamarían la posible energía potencial y con ello límites del modelo, para esto se establecerá los parámetros desde la fundamentación física, las características del modelo aplicado desde el documento base de estudio y las mismas características aplicadas a la presente investigación.

### 6.6.3 Supuestos Aplicados en el Modelo “A Quantum Model For The Market” y Estimados en los Componentes del Índice DXY.

*Tabla 5*

*Supuestos de la Creación del Modelo para la Generación de la Volatilidad de los Retornos en las Monedas que Componen el Índice DXY.*

Supuestos presentados en el modelo A Quantum Model for the Stock Market	Supuestos del Modelo aplicado a los componentes del índice DXY
$H = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial r^2} + eFrcos\omega t$	$H = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial r^2} + eFrcos\omega t$
<p>1. YUAN_Unidad Monetaria a Estudiar</p> <p>Es la misma unidad de los precios para la aplicación del modelo (yuan).</p>	<p>1. Las monedas que componen el índice DXYseran la paridad monetaria a estudiar.</p> <p>Será la unidad de los precios dada por la paridad monetaria con el objetivo de estimar la volatilidad del retorno.</p>
<p>2. <math>m_0</math> (masa en reposo de la partícula).</p> <p>Hace referencia a la masa en reposo de la partícula material, la masa en física cuántica es <math>10^{-27}</math>kg.</p>	<p>2. <math>m_0</math> (masa en reposo de la partícula)</p> <p>Se tomará la medida de masa en física cuántica <math>10^{-27}</math> kg. Para no alterar variables que no requieren supuestos o analogías.</p>

<p>3. Tendencia.</p> <p>Tendencia T, corresponde al impulso y hace referencia específica al principio de correspondencia, que conceptualmente es cuando las leyes micro se extienden a lo macro, direccionándolo a la aplicación del modelo a información micro es identificar como a partir de una masa y una primera derivada aplicada al tiempo por el precio del momento permiten identificar una tendencia total en un marco de tiempo determinado (para este caso 4 días).</p> <p>Para ello se tiene la ecuación</p> $T = m_0 \frac{d}{dt} \wp$ <p><math>m_0</math> el volumen en el momento inicial.</p> <p><math>\frac{d}{dt}</math> Derivada con respecto al tiempo.</p> <p><math>\wp</math> Precio.</p>	<p>3.Tendencia</p> <p>Se aplicará el concepto y con ello la ecuación de la tendencia T, llevándolo como el principio de corresponsabilidad al igual que en modelo base.</p> <p>Para ello se tiene</p> $T = m_0 \frac{d}{dt} \wp$ <p>Al igual que el modelo base el:</p> <p><math>m_0</math> el volumen en el momento inicial.</p> <p><math>\frac{d}{dt}</math> Derivada con respecto al tiempo.</p> <p><math>\wp</math> Precio.</p>
<p>4. Principio de Incertidumbre</p> $\Delta \wp \Delta T \geq \frac{\hbar}{2}$ <p><math>\Delta \wp</math> Desviaciones estándar del precio.</p> <p><math>\Delta T</math> Desviación estándar de la Tendencia.</p> <p><math>\hbar</math> Constante de Planck reducida en física cuántica.</p>	<p>4. Principio de Incertidumbre</p> <p>Se identifica como la variación total del precio para establecer si se halla la desviación con la función de onda o con la ecuación planteada como alterna en el modelo base, la variación debe ser superior a la constante de Planck reducida dividido 2.</p> $\Delta \wp \Delta T \geq \frac{\hbar}{2}$ <p><math>\Delta \wp</math> Desviaciones estándar del precio.</p> <p><math>\Delta T</math> Desviación estándar de la Tendencia.</p> <p><math>\hbar</math> Constante de Planck reducida en física cuántica.</p>



	<p>En caso que la variación total del precio <math>\Delta \wp</math> sea pequeño, la desviación estándar de la primera derivada de <math>d</math> con respecto al tiempo <math>t</math> por el tiempo se debe realizar con la ecuación.</p> $\Delta \left( \frac{d}{dt} \wp \right) = \sqrt{\left\langle \left( \frac{d}{dt} \wp \right)^2 \right\rangle - \left\langle \frac{d}{dt} \wp \right\rangle^2} \approx \sqrt{\left\langle \left( \frac{d}{dt} \wp \right)^2 \right\rangle}.$
<p>5. Selección del Tipo de Potencial</p> <p>Se decide aplicarlo en un pozo de potencial, al cuadrado.</p>	<p>5. Selección del Tipo Potencial</p> <p>Se aplicará la función de onda del pozo de potencial, esto a partir del análisis previo que lleva como conclusión una similitud cercana a la representación del movimiento de los precios de las monedas que componen el índice DXY donde se puede tener una energía potencia que permitan una tendencia alcista, energía potencial que genere unas ondas simétricas (precios de la paridad que no tengan una claridad en la tendencia) y finalmente energía potencial que refleje una tendencia bajista.</p>
<p>6. Regla Limite del Precio en el mercado chino para limitar el pozo.</p> <p>La tasa de retorno en un día de negociación no puede ser superior que <math>\pm 10\%</math> comparado con el precio de cierre del día anterior.</p>	<p>6. Regla Limite del precios</p> <p>El mercado de divisas no tiene un límite de precios, para ello se propone interactuar con un modelo de computación cuántica alternativo basado en medición, los cuales se conocen como “irreversibles” o “de un sentido”, lo anterior a través de operadores de Pauli generalizados<sup>6</sup>.</p>

<sup>6</sup> Las matrices de Pauli  $\{\sigma_i, i = 1, 2, 3\}$  forman un conjunto de generadores para todas las evoluciones posibles y satisfacen las siguientes propiedades que también son aplicadas a las finanzas cuánticas. Son herméticas, sus autovalores son  $\pm 1$ , tiene traza nula, es decir subproducto es ortogonal ( como lo requiere la ecuación de schödinger presentada y propuesta para el instrumento EUR/USD al final del capítulo las matrices conmutan o anticonmutan (Cecilia, 2005).

<p style="text-align: center;">7. Ancho del Pozo</p> <p>Se refleja como supuesto el precio promedio de las acciones chinas en un día.</p> <p>La información de la fórmula seria</p> $d_0 = \wp_0 \times 20\%$	<p style="text-align: center;">7. Ancho del Pozo</p> <p>Para el caso del instrumento se puede manejar el precio promedio de las monedas que componen el índice DXY en un día.</p> <p>Se mantiene la fórmula</p> $d_0 = \wp_0 \times 20\%$ <p>Reemplazando el valor porcentual por el que indique el promedio de la información del instrumento de estudio.</p> <p>Donde <math>\wp_0</math> es el precio de cierre de la acción al día anterior. Así mismo, se postula que el precio de las acciones es la rentabilidad absoluta.</p> $\wp' = \wp - \wp_0$ <p>Lo anterior permite transformar el precio de las acciones en rentabilidad absoluta, siendo.</p> $r = \frac{\wp'}{\wp_0}$
<p style="text-align: center;">8. Supuesto del mercado en equilibrio para describir cuantitativamente la volatilidad del retorno de la acción por el modelo cuántico.</p> <p>Existe un supuesto sobre el equilibrio de los mercados, lo cual permitirá aplicar la distribución de Gauss<sup>7</sup> o una distribución de Levy<sup>8</sup>. Sin embargo, ante factores externos que no permiten dicho supuesto se tomará la función Coseno Cuadrado, siendo cercana a la distribución de Gauss.</p>	<p style="text-align: center;">8. Supuesto del mercado en equilibrio para describir cuantitativamente la volatilidad del retorno de la acción por el modelo cuántico.</p> <p>Existe un supuesto sobre el equilibrio de los mercados, lo cual permitirá aplicar la distribución de Gauss o una distribución de Levy. Sin embargo, ante factores externos que no permiten dicho supuesto se tomará la función Coseno Cuadrado, siendo cercana a la distribución de Gauss.</p>

<sup>7</sup> La distribución normal en los trabajos de Gauss, tienen el “objetivo de modelar los errores experimentales en las mediciones astronómicas” (Conde, 2016), conocida gráficamente con forma de campana o curva acampanada. (Másmela Caita & Serrato Rincón, 2016).

<sup>8</sup> La distribución de Levy tiene como característica el tener segundos momentos infinitos pero tiene una propiedad como la estabilidad, la cual tiene comportamiento asintótico que obedece a una ley potencial (Casetti, 2011).

<p>9. Fluctuación de la Información</p> <p>Se idealiza el modelo a partir de dos tipos de información, la primera <math>\omega = 10^{-4} \text{ s}^{-1}</math>, en este punto se asume que la información fluctúa en un solo ciclo de alrededor 4 días en el mercado en china y la segunda, los cambios se realizan entre <math>[-1,1]</math>, esto permite identificar que la información externa que se presenta es positiva para el aumento de los precios cuando la función coseno es menor que cero.</p>	<p>9. Fluctuación de la Información</p> <p>Se podría aplicar la misma información dada en el modelo base, sin embargo se puede generar una nueva mediante la detección directa de las fluctuaciones del vacío, esto a partir de una analogía con la duración de determinado precio de la paridad en el mercado, la cual es muy breve, parecido a lo anterior se logran fluctuaciones al vacío mediante uso de pulsos de luz cortos<sup>9</sup>.</p>
<p>10. Energía Potencial</p> <p>Está se construye a partir de la información externa del mercado de valores, dado que el precio de las acciones está influenciado por el campo, como lo indica el modelo en virtud de la aproximación dipolar, se expresa como:</p> $eFrcos\omega t$ <p>Donde <math>e</math> es una constante con el mismo orden de magnitud de una carga elemental.</p> <p>F es la amplitud del campo externo.</p>	<p>10. Energía Potencial</p> <p>Se construye a partir de la información externa del mercado de valores, dado que el precio de las acciones está influenciado por el campo, como lo indica el modelo en virtud de la aproximación dipolar, se expresa como:</p> $eFrcos\omega t$ <p>Donde <math>e</math> es una constante con el mismo orden de magnitud de una carga elemental.</p> <p>F es la amplitud del campo externo.</p>
<p>11. Energía Cinética del Retorno de las Acciones.</p> $-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial r^2}$	<p>11. Energía Cinética del Retorno de las Acciones.</p> $-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial r^2}$

<sup>9</sup> “Las fluctuaciones del vacío pueden ser considerados como un parpadeo del campo cuántico de luz, incluso en la oscuridad total. Las regiones negativas (azules) y positivas (rojo) se distribuyen al azar en el espacio y cambian constantemente a gran velocidad, de manera similar al ruido blanco y negro en una pantalla de TV sin entrada de señal (...) posible detectar directamente, a pesar de todas las suposiciones contrarias, las fluctuaciones del vacío es un montaje experimental para medir campos eléctricos con muy alta resolución temporal y sensibilidad. Los conocimientos técnicos necesarios para este estudio fueron un aporte de las tecnologías ópticas de avanzada mundial y los sistemas láser de pulsos ultracortos de extrema estabilidad. El equipo de investigación de la Universidad de Konstanz desarrolló estas tecnologías en casa, y también una descripción exacta de los resultados basada en la teoría cuántica de campos. La precisión temporal lograda en su experimento está en el rango de los femtosegundos —una millonésima de una millonésima parte de un segundo—. La sensibilidad sólo es limitada por los principios de la física cuántica. “Esta extrema precisión nos ha permitido ver por primera vez que estamos rodeados continuamente por los campos de las fluctuaciones electromagnéticas del vacío” (Science 2015, 2015)

<p>Donde</p> <p><math>\hbar^2</math> Constante de Planck reducida al Cuadrado.</p> <p>2m dos por la masa del objeto, para el caso de estudio en el mercado de acciones se representa con el volumen.</p> <p><math>\frac{\partial^2}{\partial r^2}</math></p> <p>Finalmente se identifica la segunda derivada con respecto a la rentabilidad.</p>	<p>Donde</p> <p><math>\hbar^2</math> Constante de Planck reducida al Cuadrado.</p> <p>2m dos por la masa del objeto, para el caso de estudio en el mercado de acciones se representa con el volumen.</p> <p><math>\frac{\partial^2}{\partial r^2}</math></p> <p>Finalmente se identifica la segunda derivada con respecto a la rentabilidad.</p>
--	--

Nota: Creación Propia a partir de: Fuente:

<http://ocwus.us.es/fisica-aplicada/complementos-de-fisica/CF.pdf>

[http://www.ehu.eus/chemistry/theory/mario.piris/files/fisica\\_cuantica.pdf](http://www.ehu.eus/chemistry/theory/mario.piris/files/fisica_cuantica.pdf)

A partir del cuadro anterior se identifica cómo en su mayoría los supuestos son congruentes y se permite la aplicación tanto para el mercado de acciones chino como para los componentes del índice DXY. Sin embargo, dos tienen marcadas diferencias que podrían llegar a generar una diferencia al momento de ser aplicado por el método numérico, éstas son el ancho del pozo cuántico y el límite de precios, para lo cual se postulan teorías que deben ser estudiadas para ser incluidas en la búsqueda de los resultados de variables que serán reemplazados en la ecuación de Schrödinger.

#### 6.6.4 Desarrollo de la ecuación de Schrödinger

De lo anterior se genera la ecuación de Schrödinger que se debe aplicar a partir de un método numérico al instrumento EUR/USD.

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(r, t) = \left[ -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial r^2} + eFr \cos \omega t \right]$$

(1)

A partir de los supuestos se procede a dar a conocer las fórmulas y ecuaciones que permitirán tener el resultado final.

$$\Psi(r, t) = \varphi(\xi, t) \chi(r, t). \quad (2)$$

Con la sustitución de variables

$$\xi = r - \frac{eF \cos \omega t}{m\omega^2} \quad (3)$$

$$\chi(r, t) = \exp \left[ -\frac{iE_c t}{\hbar} - \frac{ieFr \sin \omega t}{\hbar \omega} - \frac{ie^2 F^2 (2\omega t - \sin 2\omega t)}{8\hbar m \omega^3} \right] \quad (4)$$

$E_c$  Energía del sistema impulsado, después de que en ambos lados de las ecuaciones se encuentren divididos por  $\chi(r, t)$ ,  $\varphi(\xi, t)$ , permite que se satisfaga la ecuación de Schrödinger dependiente del tiempo.

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} \varphi(\xi, t) - E\varphi(\xi, t) = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \varphi(\xi, t) \quad (5)$$

Y la solución se puede escribir como

$$\varphi(\xi, t) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} A_l \exp \left( \pm \frac{i\sqrt{2mE\xi}}{\hbar} \right) \exp(-il\omega t) \quad (6)$$

Donde la energía se puede expresar como

$$E = E_c \pm \hbar\omega \quad (7)$$

$E_c$ , está hace referencia a la energía cinética, determina las condiciones del pozo y la energía del estado fundamental de la ecuación de Schrödinger, a este punto no se tiene ningún impacto externo, es decir ninguna energía potencial que cambie el estado inicial de la energía y que con ello permita dar posibles resultados. Visto desde la física cuántica se puede mencionar como posibles estados donde una de ellas y después de la superposición se podría llamar volatilidad de la tasa interna de retorno. Ahora  $\hbar\omega$  actúa en la ecuación como el múltiplo integral de la unidad de energía  $\hbar\omega$ . (Equation, 1996) Direccinándolo a las finanzas, el impacto externo se inicia en el instante que los inversionistas ejecuten sus transacciones en las monedas que componen el índice DXY. Así mismo, se establece que de forma continua, esto al ser un mercado abierto 24 horas. Sin embargo, la actividad aumenta en el momento que se apertura dos mercados, ejemplo el de Tokio y Londres, en ese instante la energía potencial será mayor, así mismo en este espacio de tiempo los posibles estados, es decir las posibles soluciones también se incrementaran. Por lo anterior, es importante limitar el tiempo de estudio de los datos el cual esta definido en la investigación como el volumen de transacciones, ésto genera una minimización de la volatilidad de la información.

$$\Psi(r, t) = \exp \left[ -\frac{iE_c t}{\hbar} - \frac{ieFr \sin \omega t}{\hbar\omega} - \frac{ie^2 F^2 (2\omega t - \sin 2\omega t)}{8\hbar m \omega^3} \right] \times \sum_{l=-\infty}^{\infty} A_l \exp(-il\omega t) \left\{ \exp \left[ ik_l \left( r - \frac{eF \cos \omega t}{m\omega^2} \right) \right] + (-)^l \exp \left[ -ik_l \left( r - \frac{eF \cos \omega t}{m\omega^2} \right) \right] \right\} \quad (8)$$

$\Psi(r, t)$  tiene forma  $\exp\left(-i \in \frac{t}{\hbar}\right) u(t)$  con  $u(t) = u\left(t + \frac{2\pi}{\omega}\right)$ , esto permite indicar que esta ecuación es característica del teorema de Floquet, la cual es importante que intervenga ya que el teorema se establece para la utilización de coeficientes periódicos, un ejemplo de su aplicación se encuentra en las ecuaciones de Hill y de Mathieu (Núñez, 2016), en este caso se identifican intervalos regulares de tiempo lo cual es justo lo que establece el modelo, la generación de coeficientes en un marco de tiempo día. Es importante aclarar que esta solución es analítica, donde este método se desarrollo con base en el cálculo integral y/o diferencial para resolver las ecuaciones con lo que finalmente se obtienen expresiones matemáticas para determinar posiciones, velocidad o aceleración entre otras. Para esta investigación se obtendrá una expresión denominada solución analítica para la estimación de la volatilidad de los retornos en el instrumento EUR/USD.

Donde el vector de onda es

$$k_l = \sqrt{\frac{2m(E_c + l\hbar\omega)}{\hbar^2}} \quad (9)$$

En la función de onda,  $k_l$  denota la amplitud para cada estado posible, aunque algunas constantes se determinan en la ecuación para la función exponencial. tambien se identifica  $\in = E_0 + \frac{e^2 F^2}{4m\omega}$ , para la solución se deben tener conceptos como Spin o más al detalle el teorema de la estadística de Spin “movimiento angular intrínseco de la mecánica cuántica, que posee toda partícula a nivel cuántico, puede tomar valores entre 0.1.2.3... o semienteros  $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}$ , en unidades de la constante de Planck  $\hbar$ .” (LFP). Lo anterior también permite afirmar que las partículas tienen una interacción de intercambio, Así mismo, la  $E_0$  será positiva o negativa, en el caso del mercado de divisas la orientación puede ser alcista o bajista, esto dependerá de la

dirección que ejecute a partir de la potencia una vez el mercado de divisas este en operación activa en las monedas que componen al índice DXY.

$$\underset{\text{Recurrencia}}{\exp\left(i\frac{k_l e F \cos \omega t}{m \omega^2}\right)} = \sum_{\substack{n=-\infty \\ \text{frecuencia}}}^{\infty} i^n J_n\left(\frac{k_l e F}{m \omega^2}\right) \exp(in \omega t) \quad , \quad (10)$$

Donde

$$J_n\left(\frac{k_l e F}{m \omega^2}\right) \quad (11)$$

Función de Bessel enésima, se debe satisfacer el límite de la condición cuántica.

$$\Psi\left(\frac{d}{2}, t\right) = \Psi\left(-\frac{d}{2}, t\right) = 0 \quad (12)$$

La característica del pozo es tener dos paredes infinitas permitiendo que el ejercicio sea aún más sencillo de solucionar de forma analítica, debido a los límites que establece esta pared infinita, asumiendo que las partículas no salen de dichas paredes, este límite de pozo se referencia en  $\frac{d}{2}$  y  $-\frac{d}{2}$  donde solo se puede mover en dos dimensiones de forma positiva o negativa es decir  $\pm \frac{d}{2}$ .

(Mario P. S., 1999). Los retornos de los precios de la paridad de divisa se mueven de forma real en forma positiva y negativa, haciendo que su tendencia sea alcista o bajista, teniendo claro que esto no significa que la posición negativa sea impedimento para generar una tasa de retorno positiva, esto dependerá de la entrada en largo o corto que tenga el inversionista a partir de su estrategia.



Según la física, esto debe estar satisfecho en cualquier momento. Por la ortogonalidad de la función de Bessel

$$\sum_{l=-\infty}^{\infty} J_{n-1}(u)J_{m-n}(u) = \delta_{m,n} \quad (13)$$

Dicha fusión Bessel es una ecuación diferencial ordinaria con coeficientes variables, la cual identifica que  $J_{n-1}$  y  $J_{m-n}$  son linealmente independientes (Zill)

Se puede reducir la ecuación para ajustar el límite.

$$\sum_{l=-\infty}^{\infty} (-i)^l A_l \left[ \exp\left(ik_l d \frac{d}{2}\right) + (-)^l \exp\left(-\frac{ik_l d}{2}\right) \right] J_{n+1}\left(\frac{k_l e F}{m\omega^2}\right) = 0 \quad (14)$$

Se define dos parámetros

$$v = \frac{\hbar\omega}{E_c}$$

$$q = \frac{k_0 e F}{m\omega^2} \quad (15)$$

Se expande el vector de onda,

$$k_l = k_0 \sqrt{1 + lv} \quad (16)$$

$$A_l = i^l \left\{ \begin{aligned} & J_l(q) + \frac{q(q^2 - \pi^2)v^2}{64} [J_{l+1}(q) - J_{l-1}(q)] - \frac{3q^2 v}{32} [J_{l+2}(q) - J_{l-2}(q)] \\ & - \frac{q^2 v^2}{32} [J_{l+2}(q) + J_{l-2}(q)] + \frac{q^3 v^2}{64} [J_{l+3}(q) - J_{l-3}(q)] \\ & + \frac{9q^2 v^2}{2048} [J_{l+4}(q) + J_{l-4}(q)] \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

$$K_0 d = \pi \left( 1 - \frac{q^2 v^2}{16} \right) \quad (18)$$

Matemáticamente esto se puede reunir en una serie geométrica como la que se postula a continuación, donde cada término menos el primero, se obtiene multiplicando el anterior por una cantidad constante, que se denomina razón (José M. V., Apuntes en Curso).

$$K_0 d = \pi \left( \frac{\pi}{\sqrt{1 + \frac{q^2 v^2}{8}}} \left[ 1 - \frac{(15 - \pi^2) q^2 v^4}{768 \left( 1 + \frac{q^2 v^2}{8} \right)} \right] \right) \quad (19)$$

El documento del que se deriva esta investigación identifica a los términos no contabilizados restantes por el orden de

$$O[(v/4^4)] \times O[(qv/4)^2] \quad (20)$$

Finalmente, se reúne en la ecuación.

$$k_0 d = \frac{\pi}{\sqrt{1 + q^2 v^2 / 8}} \quad (21)$$

Lo anterior sustenta la ecuación de Schrödinger presentada que permite describir la volatilidad de los retornos en el instrumento EUR/USD donde finalmente el campo se convierte en resultados reales a partir de la limitación con base en la paredes con orden infinito. Así mismo, la ecuación permite identificar cómo se mantiene la probabilidad de transmisión de factores externo que hacen que la partícula en este caso la volatilidad del retorno del EUR/USD tenga una resonancia en el pozo de potencial cuántico llegando a tener diferentes posibles soluciones a partir del marco de tiempo de estudio.

## 7. Conclusiones

La física cuántica es parte fundamental del desarrollo de las finanzas, esto basado en principios compartidos como el de incertidumbre o como la aplicación de factores externos reconocidos en esta investigación como energía potencial, los cuales pueden ser económicos y/o financieros que hacen que el mercado tenga una tendencia y con ello impacte en el retorno esperado, donde vistos desde la física cuántica pueden ser calculados. Esto a partir del estudio de los Quarks que en economía se representarían como los factores micro que hacen que a nivel macro se tenga un cambio, donde desde la física cuántica lo macro es el átomo.

En términos de intensidad la física cuántica permite a través de sus fórmulas llegar a ecuaciones que permite la creación de modelos más complejos pero con un posible aumento en su grado de asertividad, esto a partir del estudio de factores que antes no se creían calculables como se indicó en el párrafo anterior.

- Las restricciones del modelo direccionado a la aplicación del índice DXY y la canasta de monedas que lo compone está dado por los límites de los retornos, ya que el mercado de divisas al ser OTC no tiene limitantes en rentabilidad y/o volatilidad, la restricción e información es la energía, donde en analogía con el mercado financiero se entiende como el volumen.
- Los expresión numérica de los parámetros se dimensionan a escalas muy pequeñas, esto a partir de la constante de Planck y de constante como los electrones, lo anterior no permite un fácil análisis de resultados por ello se hace necesario la aplicación de estos a

la ecuación de Schrödinger, la cual tiene en su solución aplicar la física estadística haciendo que los resultados se lleven a escalas macro.

- El modelo estabiliza los mercados en momentos de alta volatilidad, tal como ocurre en la Bolsa de Shanghái o de Estados Unidos, permite la minimización del riesgo y creación de portafolios eficientes, sumado a lo anterior crea en los inversores oportunidades de ingresar a mercados como el de opciones con nuevas estrategias y finalmente direcciona a la Ingeniería Financiera a la búsqueda de alternativas en otras áreas de conocimiento.
- En la física cuántica e incluso la clásica, si un fotón de energía estuviese sobrecargado daría paso a una ruptura del pozo cuántico, donde las partículas podrían salir de dicho pozo y crear caos, en referencia con las finanzas y la economía esta teoría también se aplica, ejemplo de ello es la crisis de las hipotecas subprime.
- Al realizar la expresión analítica se identifica limitaciones para generar los parámetros y/o variables de entrada al modelo, lo anterior debido a datos como el volumen, donde las plataformas generan esta información soportada en el número de entradas y salidas pero no con las directrices del volumen de transacciones.
- Los supuestos teóricos del modelo fueron generados a partir de parámetros establecidos en el documento base de estudio, sin embargo se genera una alternativa que es llevar a partir de los principios de la física cuántica y las finanzas otras posibilidades de modelo que permita describir volatilidad y predecir con base en una probabilidad determinada de

eficiencia a partir de métodos analíticos para posteriormente ser llevado a métodos numéricos, estos darán consecución a la creación de estrategias que posteriormente se lleven a algoritmos, para posteriormente comprobar con históricos en tiempo real en milésimas de segundos, lo cual agilizaría también los ajustes pertinentes a dichos modelos.

- La determinación de lo llamado finanzas cuánticas bajo la descripción de movimiento en ondas y otras premisas como el coeficiente de absorción es aplicable a los instrumentos financieros, lo anterior debido a que bien sea en acciones o para el caso de estudio divisas, estas absorben la energía en su totalidad, afectando con ello su tendencia, cuando se dice que absorbe la totalidad de la energía se está afirmando que inciden energías potenciales de forma técnica y fundamental, los cuales son afectados a su vez en algunas oportunidades por factores económicos o por emociones, haciendo que estas sean comparables con lo que se llama en física cuántica como cuerpos negros.
- No solo la física cuántica sino la matemática, la física estadística y la econometría entre otras áreas de estudio permiten que las finanzas sean multidimensionales e interdisciplinarias, permitiendo que la aplicabilidad de formular y técnicas de solución así como teoremas y ecuaciones generen alternativas que ayuden a evolucionar y con ello re direccionar la ingeniería financiera de forma constante.
- La ecuación de Schrödinger tiene entre su fórmula un componente exponencial, este componente también es aplicable a fórmulas como el interés continuo compuesto,

crecimiento y decrecimiento poblacional, pronósticos, cambios de precios, crecimiento en volumen entre otros.

- Es necesario crear documentos e investigaciones científicas en el mercado de divisas que comprendan información y las diferentes alternativas para generar supuestos que originen modelos en conjunto con otras áreas, es el caso de conceptos desconocidos para inversores como el de precio típico, pips entre otros, esto hace que las alternativas se limiten y que se sesguen las oportunidades de generar el conocimiento extra que se requiere para poder ejecutar los modelos hasta llegar a la aplicación con los métodos numéricos.
- La física cuántica propone que no se puede llegar a predecir el precio de una divisa con exactitud, esto debido a que se manejan pares de valores, tales como el “momentum o cantidad de movimiento, la velocidad y la posición en física cuántica los protones, electrones, hasta formar el átomo” (Andes, 2011) afirma que las partículas están en tal movimiento que en momento de conocer la información cambian.

## 8. Recomendaciones

Seguir generando valor a la investigación a partir del estudio detallado de los supuestos como el límite de precios y fluctuación de la información, la primera a partir de la computación cuántica basada en mediciones conocida como irreversibles o de un solo sentido. La fluctuación por su parte propone ser retomada a partir del análisis de pulsos de luz cortos, permitiendo así indagar cuál es el promedio en tiempo de fluctuación más justo para la expresión analítica del modelo.

Se debe estudiar y conocer el Teorema de la Estadística de Spin así como el Teorema de Floquet y la función de Bessel, estas permiten tener un amplio conocimiento que llevan al modelo a la aplicación en métodos numéricos a partir de la expresión analítica.

Se hace necesaria la participación de programas que generen un aporte a la investigación, llevándolo a poder ser modelado en aplicativos como Matlab y/o generar un aporte de mayores dimensiones, haciendo que estos mismos programas conozcan de la dimensión de las finanzas cuánticas.

Si bien la profesión de Ingeniería financiera ha sido progresiva con el transcurrir del tiempo, se debe generar como valor agregado modelos y modificaciones a modelos que permitan relacionar áreas como matemáticas y física con las finanzas, en un entorno de evolución conjunta. Sin embargo, se recomienda hacerlo desde las materias base, esto para poder generar un mayor aporte al finalizar la profesión, a su vez establece un desarrollo analítico de la utilización de estas fórmulas y ecuaciones haciendo que se lleven a la vida profesional.

Ejecutar el modelo en métodos numéricos y realizar comparaciones con otros métodos de volatilidad reconocidos en el ámbito financieros para considerar posibles ajustes desde la física cuántica y verificar cuál de ellos es el que presenta un menor grado en la volatilidad de los retornos a partir de procesos de backtesting.



## Anexos

### Anexo 1. Tabla de Precio de Cierre Componentes Índice DXY.

PRECIO DE CIERRE								d <sub>0</sub>					
DATE	EURUSD	USDJPY	GBPUSD	USDCAD	USDCHE	USDSEK	DXY	d <sub>0</sub> EURUSD	d <sub>0</sub> USDJPY	d <sub>0</sub> GBPUSD	d <sub>0</sub> USDCAD	d <sub>0</sub> USDCHE	d <sub>0</sub> USDSEK
23/07/09	1,4143	94,93	1,6479	1,0889	1,075	7,5166	78,803						
24/07/09	1,4202	94,79	1,6426	1,0868	1,0717	7,4872	78,749	0,28404	18,958	0,32852	0,21736	0,21434	1,49744
27/07/09	1,4232	95,19	1,6488	1,0812	1,0707	7,3949	78,626	0,28404	18,958	0,32852	0,21736	0,21434	1,49744
28/07/09	1,4167	94,55	1,6429	1,0814	1,0754	7,4724	78,85	0,28464	19,038	0,32976	0,21624	0,21414	1,47898
29/07/09	1,405	94,99	1,6379	1,0894	1,0871	7,4963	79,63	0,28334	18,91	0,32858	0,21628	0,21508	1,49448
30/07/09	1,4075	95,56	1,6493	1,0834	1,0876	7,4127	79,285	0,281	18,998	0,32758	0,21788	0,21742	1,49926
31/07/09	1,4257	94,68	1,6713	1,0776	1,0685	7,1915	78,347	0,2815	19,112	0,32986	0,21668	0,21752	1,48254
03/08/09	1,4412	95,27	1,6928	1,0658	1,0594	7,0821	77,639	0,28514	18,936	0,33426	0,21552	0,2137	1,4383
04/08/09	1,4408	95,23	1,6939	1,0726	1,06	7,1202	77,765	0,28824	19,054	0,33856	0,21316	0,21188	1,41642
05/08/09	1,4404	94,97	1,6989	1,0705	1,0619	7,1366	77,517	0,28816	19,046	0,33878	0,21452	0,212	1,42404
06/08/09	1,4345	95,46	1,6783	1,0777	1,0653	7,1599	78,065	0,28808	18,994	0,33978	0,2141	0,21238	1,42732
07/08/09	1,4183	97,57	1,6684	1,0813	1,0811	7,1598	78,975	0,2869	19,092	0,33566	0,21554	0,21306	1,43198
10/08/09	1,414	97,15	1,6481	1,0888	1,0855	7,2561	79,256	0,28366	19,514	0,33368	0,21626	0,21622	1,43196

### Anexo 2. Tabla de Rentabilidad Componentes Índice DXY.

Rentabilidad						Volumen					
EURUSD	USDJPY	GBPUSD	USDCAD	USDCHE	USDSEK	EURUSD	USDJPY	GBPUSD	USDCAD	USDCHE	USDSEK
0,4154%	-0,1477%	-0,3227%	-0,1932%	-0,3079%	-0,3927%	9820	11383	12069	7812	9436	1760
0,2108%	0,4202%	0,3760%	-0,5179%	-0,0934%	-1,2482%	12953	11768	10600	6524	6696	1404
-0,4588%	-0,6769%	-0,3591%	0,0185%	0,4370%	1,0372%	10999	10904	12968	13	178	4
-0,8327%	0,4632%	-0,3053%	0,7343%	1,0763%	0,3188%	13164	13959	17450	6780	8121	1572
0,1776%	0,5965%	0,6912%	-0,5538%	0,0460%	-1,1278%	17945	283	191	7480	9489	2327
1,2766%	-0,9294%	1,3163%	-0,5382%	-1,7876%	-3,0759%	311	12780	15070	9650	10252	1800
1,0755%	0,6193%	1,2701%	-1,1071%	-0,8590%	-1,5447%	16228	13531	16677	7994	10022	1892
-0,0278%	-0,0420%	0,0649%	0,6340%	0,0566%	0,5351%	17046	17502	19714	8202	9643	1882
-0,0278%	-0,2738%	0,2943%	-0,1962%	0,1789%	0,2298%	17188	13218	16095	294	631	5
-0,4113%	0,5133%	-1,2274%	0,6681%	0,3192%	0,3254%	16221	11605	14688	7641	10590	1887
-1,1422%	2,1625%	-0,5934%	0,3329%	1,4615%	-0,0014%	13973	157	176	7893	8932	1585
-0,3041%	-0,4323%	-1,2317%	0,6888%	0,4053%	1,3272%	234	10602	12364	7695	9012	1223
						12547	10907	11704	7893	9191	1497

### Anexo 3. Tabla de Energía Componentes Índice DXY

Energía						q			
EURUSD	USDJPY	GBPUSD	USDCAD	USDCHE	USDSEK	EURUSD	USDJPY	GBPUSD	USDCAD
1,39717E-70	1,205E-70	1,137E-70	1,756E-70	1,454E-70	7,796E-70	159.958.892.748,9710	137.994.933.391,4520	130.151.323.787,7950	201.074.798.616,8580
1,05923E-70	1,166E-70	1,294E-70	2,103E-70	2,049E-70	9,772E-70	121.268.920.465,9070	133.480.313.289,8450	148.188.332.716,5000	240.771.969.159,2420
1,24741E-70	1,258E-70	1,058E-70	1,055E-67	7,708E-69	3,43E-67	142.812.649.040,3580	144.056.889.838,1230	121.128.649.506,0840	120.830.486.676.530,0000
1,04226E-70	9,829E-71	7,863E-71	2,024E-70	1,689E-70	8,728E-70	119.325.153.964,9720	112.529.287.684,9990	90.016.981.478,2175	231.680.874.158,5390
7,64572E-71	4,848E-69	7,183E-69	1,834E-70	1,446E-70	5,896E-70	87.533.927.377,8152	5.550.517.055.812,3500	8.224.064.538.193,1700	209.999.508.929,7990
4,41166E-69	1,074E-70	9,104E-71	1,422E-70	1,338E-70	7,622E-70	5.050.792.047.572,0100	122.910.510.703,8260	104.233.332.899,4620	162.776.821.429,5230
8,45468E-71	1,014E-70	8,227E-71	1,716E-70	1,369E-70	7,252E-70	96.795.435.469,2442	116.088.709.392,8680	94.189.382.190,7354	196.496.913.534,5130
8,04895E-71	7,839E-71	6,96E-71	1,673E-70	1,423E-70	7,29E-70	92.150.435.691,3584	89.749.533.013,0782	79.679.229.319,0065	191.513.816.970,8480
7,98246E-71	1,038E-70	8,525E-71	4,667E-69	2,174E-69	2,744E-67	91.389.127.693,4428	118.837.670.358,2160	97.595.298.340,7825	5.342.844.648.962,2300
8,45832E-71	1,182E-70	9,341E-71	1,796E-70	1,296E-70	7,271E-70	96.837.206.509,7648	135.355.133.717,7850	106.944.194.362,3980	205.574.705.770,8280
9,81911E-71	8,739E-69	7,796E-69	1,738E-70	1,536E-70	8,656E-70	112.416.540.957,1960	10.005.072.145.190,4000	8.924.979.129.516,4500	199.011.317.217,1410
5,86335E-69	1,294E-70	1,11E-70	1,783E-70	1,522E-70	1,122E-69	6.712.804.815.362,8000	148.160.377.928,2110	127.045.966.256,4620	204.132.076.256,6460
1,09351E-70	1,258E-70	1,172E-70	1,738E-70	1,493E-70	9,165E-70	125.192.980.536,7730	144.017.266.598,9630	134.210.212.473,9320	199.011.317.217,1410

**Anexo 4. Aplicación de la Formula con los Paremetros de los Componentes del Índice DXY, en Excel.**

v					
EURUSD	USDJPY	GBPUSD	USDCAD	USDCHF	USDSEK
7,54789E+28	8,749E+28	9,277E+28	6,004E+28	7,253E+28	1,353E+28
9,95599E+28	9,045E+28	8,147E+28	5,015E+28	5,147E+28	1,079E+28
8,4541E+28	8,381E+28	9,968E+28	9,992E+25	1,368E+27	3,074E+25
1,01182E+29	1,073E+29	1,341E+29	5,211E+28	6,242E+28	1,208E+28
1,3793E+29	2,175E+27	1,468E+27	5,749E+28	7,293E+28	1,789E+28
2,39042E+27	9,823E+28	1,158E+29	7,417E+28	7,88E+28	1,384E+28
1,24732E+29	1,04E+29	1,282E+29	6,144E+28	7,703E+28	1,454E+28
1,3102E+29	1,345E+29	1,515E+29	6,304E+28	7,412E+28	1,447E+28
1,32111E+29	1,016E+29	1,237E+29	2,26E+27	4,85E+27	3,843E+25
1,24679E+29	8,92E+28	1,129E+29	5,873E+28	8,14E+28	1,45E+28
1,074E+29	1,207E+27	1,353E+27	6,067E+28	6,865E+28	1,218E+28
1,79858E+27	8,149E+28	9,503E+28	5,915E+28	6,927E+28	9,4E+27
9,64393E+28	8,383E+28	8,996E+28	6,067E+28	7,064E+28	1,151E+28

## Bibliografía

- Actiweb. (19 de 05 de 2015). *La Constante de Planck*. Obtenido de <http://www.actiweb.es>
- Alexander, P. G. (2012). *Interpretación y Aplicación de las Leyes de Movimiento de Newton. Una Propuesta Didáctica para Mejorar el Nivel de Desempeño y Competencia en los estudiantes de Grado Décimo*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co>
- Andes, U. d. (2011). *La Física Cuántica en el Pensamiento, la Acción y el Sistema Neuronal*. Bogotá D.C.: Publicaciones Codepre.
- Antonio, B. J. (2012). *Inducción Electromagnética*. Obtenido de <https://www.uclm.es>
- Astromia. (2007). *Heiseneberg y el Principio de Incertidumbre*. Obtenido de <http://www.astromia.com/biografias/heisenberg.htm>
- Astromía. (24 de 05 de 2015). *Erwin Schrödinger y la mecánica ondulatoria*. Obtenido de <http://www.astromia.com>
- Astromía. (18 de 07 de 2015). *La Paradoja de Schrödinger*. Obtenido de <http://www.astromia.com/astrologia/paradojagato.htm>
- Astromía. (s.f.). *Agujeros Negros*. Obtenido de <http://www.astromia.com>
- Azcárraga A, J. (02 de 06 de 2015). *Albert Einstein (1879-1955) y su Ciencia*. Obtenido de <http://www.uv.es>
- Barbero J, A. (2009). *Introducción a la electromagnética*. Obtenido de [https://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/Teoria/Leccion\\_Induccion\\_Electromagnetica.pdf](https://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/Teoria/Leccion_Induccion_Electromagnetica.pdf)
- BBC Mundo. (07 de 01 de 2016). Obtenido de ¿Por qué China suspendió su mercado bursátil por segunda vez en una semana y cómo afecta al resto del mundo?: [http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/01/160107\\_economia\\_china\\_mercados\\_segunda\\_suspension\\_wbm](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/01/160107_economia_china_mercados_segunda_suspension_wbm)
- Biblioteca Digital. (2008). *La Relatividad Especial*. Obtenido de [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/50/html/sec\\_4.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/50/html/sec_4.html)
- Biografías y Vidas. (18 de 05 de 2015). *Enciclopedia Biográfica en Línea*. Obtenido de Max Planck: <http://www.biografiasyvidas.com>
- Brambila Urías Homero, C. E. (2000). Pensamiento Económico: Una Reflexión Oportuna. *Revista de Comercio Exterior de México*, 1069-1076.
- Cabaña Alejandra, M. C. (s.f.). *Modelos de Series Estacionarias en Tiempo Continuo Mediante Procesos de Ornstein-Uhlenbeck Iterados*. Obtenido de <http://www.iesta.edu.uy>

- Cabaña, A., & M. Cabaña, E. (2014). *Modelos de Series Estacionarias en Tiempo Continuo Mediante Procesos de Ornstein-Uhlenbeck Iterados*. Obtenido de [http://www.iesta.edu.uy/wp-content/uploads/2014/05/TJA\\_2011\\_Caba%C3%B1a.pdf](http://www.iesta.edu.uy/wp-content/uploads/2014/05/TJA_2011_Caba%C3%B1a.pdf)
- Calor y la Primera Ley de Termodinámica*. (s.f.). Obtenido de <http://old.dgeo.udec.cl>
- Cassetti, J. (12 de 2011). *Vuelos Truncados de Lévy Aplicados al Estudio de Índices de Mercado*. Obtenido de [http://cms.dm.uba.ar/academico/carreras/licenciatura/tesis/2011/Cassetti\\_Julia.pdf](http://cms.dm.uba.ar/academico/carreras/licenciatura/tesis/2011/Cassetti_Julia.pdf)
- Cecilia, C. (Agosto de 2005). *Funciones de Wigner Discretas y Estados Estabilizadores en Computación Cuántica*. Obtenido de <http://qufiba.df.uba.ar/theses/ThesisCormick.pdf>
- Conde, A. (10 de 02 de 2016). *La Distribución Normal una Rápida Revisión Histórica*. Obtenido de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/8364/1/07-A07-p59-65.pdf>
- Dasneces, J. (19 de 02 de 2016). *Números Índices*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/JonatanDasNeves/numeros-indices-14591525>
- Dr. Silvera Piris, M. (1999). *Física Cuántica*. Obtenido de <http://www.ehu.eus>
- Educastur. (18 de 07 de 2015). *Ecuación de Schrödinger*. Obtenido de [http://web.educastur.princast.es/proyectos/jimena/pj\\_franciscga/schoroedinger.htm](http://web.educastur.princast.es/proyectos/jimena/pj_franciscga/schoroedinger.htm)
- Efraín, C. M. (06 de 2001). *El Mercado Internacional de Divisas, Principios Básicos*. Obtenido de <http://dspace.unm.edu/bitstream/handle/1928/11381/El%20Mercado%20internacional%20de%20divisas.pdf?sequence=1>
- Enciclopedia Biografía en Línea. (2004). *Niels Bohr*. Obtenido de <http://www.biografiasyvidas.com>
- Equation, S. D.-D. (12 de 01 de 1996). Mathias Wagner. 4010-4013.
- F.A, K. (1867). *Mecánica Cuántica Moderna*. Obtenido de <http://garritz.com>
- Fernández Germán. (21 de 10 de 2009). <http://www.quimicafisica.com/postulados-mecanica-cuantica.html>. Obtenido de <http://www.quimicafisica.com>
- Ferrer del Valle, A. (2010). *El Principio de Incertidumbre, La Incerteza en Física y la Visión de Peter Landsberg*. Obtenido de <http://www.mat.uc.cl/~rolando.rebolledo/Azar/Trabajos/Ferrer.pdf>
- Ferrer del Valle, A. (2011). *El Principio de Incertidumbre, La Incerteza en Física y la Visión de Peter Landsberg*. Obtenido de <http://www.mat.uc.cl/~rolando.rebolledo/Azar/Trabajos/Ferrer.pdf>
- Finanzas, T. p. (27 de 05 de 2013). *Gestión.pe*. Obtenido de <http://gestion.pe/tendencias/the-physics-of-wall-street-aportes-fisica-finanzas-2067067>
- Gallón Gómez, S., & Gómez Portilla, K. (03 de 2007). *Distribución Condicional de los Retornos de la Tasa de Cambio Colombiana: un Ejercicio Empríco a Partir de los Modelos de GARCH multivariado*. Obtenido de [http://www.urosario.edu.co/economia/documentos/v10n2\\_gallon\\_gomez.pdf](http://www.urosario.edu.co/economia/documentos/v10n2_gallon_gomez.pdf)
- George J, S. (09 de 1951). *El Método Matemático en la Economía*. Obtenido de [http://aleph.academica.mx/jspui/bitstream/56789/7524/1/DOCT2064785\\_ARTICULO\\_6.PDF](http://aleph.academica.mx/jspui/bitstream/56789/7524/1/DOCT2064785_ARTICULO_6.PDF)

- Gobierno de Canarias. (10 de 02 de 2016). *La Teoría Cuántica*. Obtenido de <http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/Usrn/lentiscal/2-CD-Fiisca-TIC/2-8Cuantica/Cuantica-TeoriaWeb/FisiCuanti.htm>
- González Morales, A. (15 de 09 de 2015). *Fundamentos de la Física General*. Obtenido de <http://milan2.es/enespanasepusoelsol/F%C3%ADsica%20General.pdf>
- Guzmán Leriche, O. C. (2005). Racionalidad del Homo Económicus Versus Creencia Racional: Una Visión a Través de la Teoría de Juegos. *Revista Análisis Económico*, 3-8.
- Henríquez, G. (2009). *El Paradigma Cartesiano de lo Mental*. Obtenido de <http://eprints.ucm.es/9815/1/T31450.pdf>
- Historic Papers. (14 de 05 de 2015). *Historic Papers*. Obtenido de <http://web.archive.org>
- Hyper\_Physics. (s.f.). *Ley de Gauss*. Obtenido de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>
- IGEF . (s.f.). *Internationale Gesellschaft für Elektromog-Forschung IGEF*. Obtenido de <http://www.elektromog.com>
- Informationweek Wallstreet & Technology. (s.f.). Obtenido de <http://v4.wallstreetandtech.com/>
- Intercentres. (16 de 02 de 2016). *Interpretación de las Interacciones en el Marco de la Física Cuántica*. Obtenido de <http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Campo/Campo08.htm>
- Intercentres.edu. (s.f.). *Interpretación de las Interacciones en el Marco de la Física Cuántica*. Obtenido de <http://intercentres.edu.gva.es>
- Investing. (10 de 02 de 2016). *Que es Forex - Forex para Principiantes* . Obtenido de <http://es.investing.com/education/principiantes/c%25C3%25A1lculo-del-valor-de-un-pip-40872>
- Isaac, A. (1977). *Cien Preguntas Básicas Sobre la Ciencia*. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/0BxAbmxL88uaJRU82cIN3bDFBdGc/edit>
- J.M., G. T. (1975). *Los Índices Bursátiles: Significación Económica y Financiera*.
- Jaimes, E. (10 de 12 de 2004). *Historia de la Química Enfocada en el Átomo y el Enlace*. Obtenido de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/16709/1/atomo.pdf>
- Jorge, G. I. (2002). James Tobin (1918-2002). *Revista de Economía Institucional*, <http://www.economiainstitucional.com/pdf/No6/jgonzalez6.pdf>.
- José, C. Q. (2004). *La Evaluación de la Gestión de Carteras: Análisis Teorico, Alfa de Jensen Vs Desempeño del Gestor*. Obtenido de <http://cashflow88.com/decisiones/alfa.pdf>
- José, M. V. (Apuntes en Curso). *Métodos de la Física Matemática II*. Obtenido de <http://fisica.ciencias.uchile.cl/alejo/clases/mfm2.pdf>
- LFP. (s.f.). *Partículas Idénticas*. pág. <http://www.lfp.uba.ar/es/notas%20de%20cursos/notasmecanicacuantica/13Identicas.pdf>.

- López Lander, I., & Muñoz Torrótegui, E. (2014). *Cuántica y Relatividad (Teoría del Todo)*. Obtenido de <http://www.ehu.eus>
- M. E. Danae Duana Ávila, L. C. (s.f.). *Modelo Black-Scholes-Merton, para la toma de decisiones financieras*. Obtenido de <http://www.uaeh.edu.mx>
- M.C. Bosca. (s.f.). *Física Cuántica\_Quantum*. Obtenido de <http://wdb.ugr.es>
- Mántey, d. A. (12 de 2000). *Hyman P. Minsky en el Pensamiento Económico*. Obtenido de [http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/41/12/CE\\_DICIEMBRE\\_2000\\_VOL50\\_NUM12\\_MEX.pdf](http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/41/12/CE_DICIEMBRE_2000_VOL50_NUM12_MEX.pdf)
- Manuel, P. (1995). *La Filosofía de los Científicos*. Obtenido de <http://institucional.us.es>
- Marco, A. (2011). *Algorithmic and High-frequency trading: an overview*. Obtenido de <https://www.math.nyu.edu/faculty/avellane/QuantCongressUSA2011AlgoTradingLAST.pdf>
- María, C. B., Alberto, C., Yadira, N., & Wietse, V. (2010). *Procesamiento de Datos y Análisis Estadísticos Utilizando SPSS*. Porto Alegre, Brasil: edipucrs.
- Mariela, P. V. (14 de 03 de 1998). *¿Que es la Inteligencia?* Obtenido de <http://www.cedalp.com>
- Mario, C. (2015). *Mécanica Clásica\_ Universidad de los Andes* . Obtenido de <http://www.ciens.ula.ve>
- Mario, P. S. (1999). *Física Cuántica*. Obtenido de [http://www.ehu.eus/chemistry/theory/mario.piris/files/fisica\\_cuantica.pdf](http://www.ehu.eus/chemistry/theory/mario.piris/files/fisica_cuantica.pdf)
- Marshal, A. (1931). *Principios de la Economía \_ Introducción al Estudio de esta Ciencia*. España: <http://eet.pixel-online.org/files/etranslation/traduzioni/spagna/Marshall,%20Principios%20de%20economia.pdf>
- Martínez Pirla, F. M. (1999). *La Ciencia Económica de la Empresa y el Nuevo Paradigma de la Complejidad*. . Obtenido de <http://biblioteca.ucm.es/tesis/19972000/S/2/S2024001.pdf>
- Martinez, E., & Sánchez, S. (03 de 05 de 2015). *La Concepción del Aprendizaje Según J. Bruner*. Obtenido de <http://www.uhu.es>
- Másmela Caíta, L. A., & Serrato Rincón, J. C. (10 de 02 de 2016). *Una Aproximación Historica a la Evolución de la Curva Normal*. Obtenido de <http://www.alammi.info/2congreso/memorias/Documentos/miercoles/UnaAPROXIMACIONHISTORICA.pdf>
- mcgraw-hill. (1986). *Análisis de Correlación y Regresión*. Obtenido de [http://www.mcgraw-hill-educacion.com/pye01e/cap13/13analisis\\_de\\_correlacion\\_y\\_regresion.pdf](http://www.mcgraw-hill-educacion.com/pye01e/cap13/13analisis_de_correlacion_y_regresion.pdf)
- MDSN. (10 de 02 de 2016). *Fórmula del Precio Típico*. Obtenido de <https://msdn.microsoft.com/es-es/library/dd456616.aspx>
- Melo de Sousa Paulo Benício, R. V. (2013). *New Models Of Quantum Games*. Obtenido de <http://arxiv.org>

- Mendoza Santos Juan Carlos, S. H. (2010). *El Nacimiento de una Constante*. Obtenido de <http://www.utm.mx>
- Meng Xianggyi, W. Z.-J. (18 de 06 de 2014). *Quantum spatial-periodic harmonic model for daily price-limited stock markets*. Obtenido de <http://arxiv.org/pdf/1405.4490.pdf>
- Miguel, O. O., & Miguel, A. S. (2004). *Física Cuántica*. Obtenido de <http://www.fisimur.org/wp-content/uploads/apuntes-fc.pdf>
- Müller A. Erich. (2002). *Termodinámica Básica*. Obtenido de <http://www3.imperial.ac.uk>
- Núñez, D. (10 de 02 de 2016). *Estabilidad de Oscilaciones Periódicas en una Ecuación de Newton no Autónoma*. Obtenido de <http://www.ugr.es/~ecudif/files/tesdaniel.pdf>
- Olmedo Fernández Elena, G. V. (15 de 07 de 2005). *De la Linealidad a la Complejidad: Hacia un Nuevo Paradigma*. Obtenido de <file:///C:/Users/Giovanny/Desktop/10379-10460-1-PB.PDF>
- Owen Weatherall, J. (2015). *The Physics of Wall Street*. Obtenido de <http://jamesowenweatherall.com/>
- Patricio, B. (s.f.). *Biblioteca Salvat*. Obtenido de Biografía y Entrevista a Louis Víctor de Broglie: <http://www.librosmaravillosos.com>
- Pérez, J. A. (08 de 2011). *A fondo, Reportaje Negociación de Alta Frecuencia*. Obtenido de <https://www.bolsasymercados.es>
- R. Jimenez, J. A. (03 de 07 de 2015). *Introducción al Mercado de Divisas (FOREX)*. Obtenido de <http://www.ejournal.unam.mx/rca/188/RCA18812.pdf>
- Ramos, M. H. (2007). *Nuevo Paradigma*. Obtenido de Revista de Posgrado de la Vía Cátedra de Medicina - N° 166
- Retolaza, J. L. (15 de 11 de 2007). *El Problema de la Causalidad en las Ciencias Económicas*. Obtenido de <http://www.ehu.es/cuadernosdegestion/documentos/723.pdf>
- Revista Latinoamericana de Educación Inclusiva. (Septiembre de 2009). Obtenido de <http://www.rinace.net/rlei/numeros/vol3-num2/Rev.%20Ed.%20Inc.%20Vol3,2.pdf>
- Rodriguez J, J. D. (10 de 09 de 2007). *Una idea profunda en la comprensión del mundo físico: el*. Obtenido de <http://www.lajpe.org>
- Revista Brasileira de Ensino de Física. (2008). La unificación de luz, electricidad y magnetismo: la "síntesis electromagnética" de Maxwell. *Rev. Bras. Ensino Fís* vol 30-2, 1-18.
- Ruiz Martín, M. (Septiembre de 2001). *CNMV, Comisión Nacional del Mercado de Valores de España*. Obtenido de [http://www.cnmv.es/DocPortal/Publicaciones/MONOGRAFIAS/Mon2007\\_26.pdf](http://www.cnmv.es/DocPortal/Publicaciones/MONOGRAFIAS/Mon2007_26.pdf)
- Samuel, B. (septiembre de 2010). *Microeconomía, Comportamiento, Instituciones y Evolución*. Obtenido de [http://bowlesmicroeconomia.uniandes.edu.co/capitulos/Microeconomia\\_Bowles\\_Completo.pdf](http://bowlesmicroeconomia.uniandes.edu.co/capitulos/Microeconomia_Bowles_Completo.pdf)
- Sánchez Molinero, J. M. (17 de 06 de 2015). *La Contribución de Daniel Bernoulli y Gabriel Cramer a la Teoría de la Utilidad*. Obtenido de <http://cuadernos.uma.es/pdfs/pdf287.pdf>

- Sánchez, M. S. (2011). *El Nacimiento de una Constante*. Obtenido de <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/e0431.pdf>
- Sargent, T. J. (1996). *The Concise Encyclopedia Of Economics, Rational Expectations*. Obtenido de <http://www.econlib.org/library/Enc/RationalExpectations.html>
- Science 2015. (2 de Octubre de 2015). *Los físicos Lograron la Detección Directa de las Fluctuaciones del Vacío*. Obtenido de <http://axxon.com.ar/noticias/2015/10/los-fisicos-lograron-la-deteccion-directa-de-las-fluctuaciones-del-vacio/>
- SEEDMagazine. (2016). A billionaire Ex- Mathematician Believes he has A Simple Formula For Improving Math Education And Making America More Competitive. *SEEDMAGAZINE*, [http://seedmagazine.com/content/article/putting\\_his\\_money\\_where\\_his\\_math\\_is/](http://seedmagazine.com/content/article/putting_his_money_where_his_math_is/).
- Stigler J, G. (19 de 08 de 2015). *El Método Matemático de la Economía*. Obtenido de [http://aleph.academica.mx/jspui/bitstream/56789/7524/1/DOCT2064785\\_ARTICULO\\_6.PDF](http://aleph.academica.mx/jspui/bitstream/56789/7524/1/DOCT2064785_ARTICULO_6.PDF)
- Subdirección de Desarrollo Sectorial. (23 de 02 de 2009). *Estadísticas de Educación Superior*. Obtenido de <http://www.upb.edu.co>
- Survey, B. (19 de 02 de 2016). *Triennial Central Bank Survey of foreign exchange and derivatives market activity in 2013*. Obtenido de <http://www.bis.org/publ/rpfx13.htm>
- Tendencias Científicas. (12 de 05 de 2006). *Revista Electrónica de Ciencias*. Obtenido de <http://www.tendencias21.net>
- UGR. (28 de 09 de 2014). *Quantum FC*. Obtenido de La función de onda  $\psi$ , su ecuación y su interpretación probabilística: <http://wdb.ugr.es>
- unalmed. (19 de 06 de 2015). *Teoría Cuántica*. Obtenido de <http://www.unalmed.edu.co/~cgpaucar/Cuantica.html>
- Universidad de Salamanca. (2010). *Trabajo, Energía y Conservación de la Energía*. Obtenido de [http://ocw.usal.es/enseanzas-tecnicas/fisica-i/contenidos/temas\\_por\\_separado/3\\_ap\\_trabyener1011.pdf](http://ocw.usal.es/enseanzas-tecnicas/fisica-i/contenidos/temas_por_separado/3_ap_trabyener1011.pdf)
- Universitaria, F. (s.f.). *Termodinámica*. Obtenido de <http://www.uia.mx>
- Valderas, O. &. (2010). *La Economía en el Marco de la Ciencia Compleja*. Obtenido de <http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistan%BA17/Elena%20Olmedo%20-%20Juan%20M%20Valderas%20y%20Ruth%20Mateos.pdf>
- Zhang Chao, H. L. (s.f.). *A quantum model for the stock market*. Obtenido de <http://arxiv.org>
- Zill, D. G. (s.f.). *Ecuaciones Diferenciales con Aplicaciones al Modelado*. Obtenido de <http://www-elec.inaoep.mx/~rogerio/ecuacionesdiferencialesconaplicacionesdemodeladodennisg-zill6edicin-110622213442-phpapp01.pdf>